



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE GEOLOGIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

LUIZ CARLOS FERRERIA DE CRISTO

**PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE LINHAS SÍSMICAS DA REGIÃO DE
QUEBRA DE TALUDE NA BACIA DO JEQUITINHONHA**

**BELÉM
2013**

LUIZ CARLOS FERREIRA DE CRISTO

PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE LINHAS SÍSMICAS DA REGIÃO DE
QUEBRA DE TALUDE NA BACIA DO JEQUITINHONHA

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

Orientadora: Prof^a. Dr^a Ellen de
Nazaré Souza Gomes

Belém

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Sistema de Bibliotecas da UFPA

C933pp Cristo, Luiz Carlos Ferreira de

Processamento e interpretação de linhas sísmicas da região de quebra de talude da Bacia do Jequitinhonha / Luiz Carlos Ferreira de Cristo – 2013

99 f.: il.

Orientadora: Ellen de Nazaré Souza Gomes

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Método de reflexão sísmica – Processamento de dados. 2. Geofísica. 3. Processamento sísmico. I. Gomes, Ellen de Nazaré Souza, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22^a ed.: 622.1592

LUIZ CARLOS FERREIRA DE CRISTO

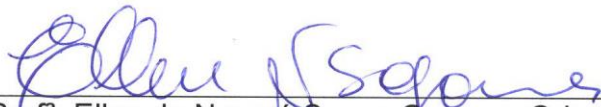
PROCESSAMENTO E INTERPRETAÇÃO DE LINHAS SÍSMICAS DA REGIÃO DE
QUEBRA DE TALUDE NA BACIA DO JEQUITINHONHA

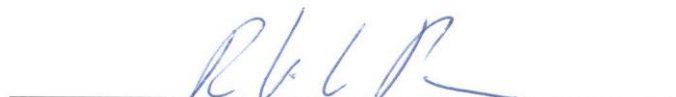
Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de Geologia do
Instituto de Geociências da Universidade
Federal do Pará – UFPA, em cumprimento
às exigências para obtenção do grau de
Bacharel em Geologia.

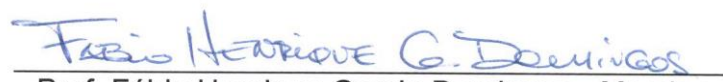
Data de aprovação: ___/___/___

Conceito: _____

Banca examinadora:


Prof^a. Ellen de Nazaré Souza Gomes - Orientadora
Doutora em Geofísica
Universidade Federal do Pará


Prof. Roberto Vizeu Lima Pinheiro- Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará


Prof. Fábio Henrique Garcia Domingos - Membro
Doutor em Geologia
Universidade Federal do Pará

Dedicado à

A minha mãe, Maria da Cruz, por seu carinho e esforço na minha criação.

Ao meu pai, José Carlos, embora com erros, ainda um bom homem.

Para Cleide e Pilar Lobo, por sua amizade e compreensão.

A professora Vânia Barriga, uma segunda grande mãe.

Daniele Lima, Karen, Renan e Az, meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Profª e Orientadora Dra. Ellen Nazareth pela orientação na elaboração deste trabalho, por ter me ingressado e instruído no campo da pesquisa científica, em especial os métodos sísmicos.

Ao Mestre e Coorientador Andrei Gomes de Oliveira pela ajuda na elaboração deste trabalho, por me ensinar as bases para o processamento sísmico e por tirar muitas das minhas inúmeras dúvidas relacionado aos métodos utilizados.

Aos Profs. Drs. Afonso Cesar Nogueira e Joelson Soares por sua ajuda e contribuição na parte de interpretação sísmica e sismoestratigrafia.

A Profª Vânia Maria Barriga, por ser para mim e para muitos dos meus colegas, mais que uma professora. Uma verdadeira mãe.

Às bibliotecárias, funcionários e bolsistas da biblioteca do Instituto de geociências pelo apoio, pelas dicas na elaboração do texto do TCC e também pela atenção recebida.

E a todos os outros professores do Departamento pelos conhecimentos a mim transmitidos no decorrer do curso.

Às Irmãs Lobo: Pillar, Cleide e Sônia, que foram mais que amigas. São praticamente minha família.

Aos meus amigos Cláudia Daniele, Sâmia Vianna, Karen Carmona, Antônio “AZ” Pantoja Júnior, Renan Feitosa, Rudson & Erica Fonseca, Roberta Costa, Walmir Lima Junior, Michele Berilo, Abner de Carvalho, Max de Jesus, Ignácio de Loyola, Bruna Leal, Kleber Rabelo, Eduardo Albuquerque e Rose Assunção.

A todos os amigos e amigas que fiz ao longo do Curso, em especial aos amigos da turma de 2006.

Ao Engenheiro da computação Nielsen Martins por sempre consertar meu pobre computador e por sempre dar suporte técnico quando necessário.

Aos meus veteranos Jorge Martins, Cleiciane Oliveira, André “Bob” e André “Urso” (esses “vermes desprezíveis”), Jaqueline Coelho, Luciana Brelaz e Victor “Forest Gump” Hage.

“O olho vê somente o que a mente está preparada para compreender”.

Henri Bérqson - Filósofo francês.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo a realização do processamento e a interpretação de dados sísmicos 2D na Bacia do Jequitinhonha, na região de quebra de talude, na plataforma continental. Este tipo de dado sísmico possui uma grande quantidade de múltiplas de superfície. Um processamento sísmico específico foi aplicado aos dados com o objetivo de estimar e eliminar as múltiplas de superfície livre e de acentuar os dados sísmicos de interesse. A interpretação das seções sísmicas foi realizada tendo por base a coerência lateral presente nos refletores de cada seção migrada, sendo interpretadas de 4 (quatro) a 6 (seis) superfícies sísmicas horizontais nas linhas, que são seccionadas por falhas normais, falhas em *roll over*, sinclinais, e possíveis altos estruturais presentes na bacia. Também foram observados padrões de terminações sísmicas progradantes, caóticos e em *onlaps*, sugerindo que as possíveis camadas sedimentares depositadas nessa região da Bacia do Jequitinhonha tenham sido depositadas em ambientes de lamina d'água rasa, com grande aporte sedimentar e alta energia.

Palavras-chave: Método de reflexão sísmica – Processamento de dados Métodos sísmicos. Geofísica. Processamento sísmico.

ABSTRACT

This work aims the implementation of the processing and interpretation of 2D seismic data in the basin Jequitinhonha in slope break region on the continental shelf. This type of seismic data has a large number of multiple surface. A specific seismic processing was applied to the data in order to estimate and eliminate multiple free surface and enhance the seismic data of interest. The interpretation of seismic sections was performed based on the lateral coherence present in each section migrated reflectors are interpreted four (4) to six (6) horizontal surfaces seismic lines, which are sectioned by normal faults, failures *roll over*, synclines, and possible structural highs present in the basin. Were also observed patterns of prograding seismic terminations, chaotic and *onlaps*, suggesting that the possible sedimentary layers deposited in this region of the Jequitinhonha Basin have been deposited in environments lamina shallow water with large sediment yield and high energy.

Keywords: Seismic reflection method - Data processing. Geophysics. Seismic processing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Jequitinhonha. A bacia é delimitada a norte a sul pelas Bacias de Camamu-Almada e Cumuruxatiba, respectivamente. 22
- Figura 2 - Arcabouço estrutural da bacia do Jequitinhonha. Pode-se perceber na figura as principais feições estruturais ocorrentes na bacia, além dos cânions formados na porção sul da bacia devido a falta da plataforma rasa próximo ao limite sul da bacia. 25
- Figura 3 - Seção Geológica da Bacia do Jequitinhonha. Como mostra a figura, o registro sedimentar da porção *rifte* da bacia é fortemente marcado pela presença de falhas normais que cortam as sequências sedimentares, alcançando o embasamento da bacia. 26
- Figura 4 - Arcabouço Estrutural da Bacia do Jequitinhonha, com base na proposta da tectônica salina de Caixeta et. al. (2008). 27
- Figura 5 - Carta Estratigráfica da Bacia do Jequitinhonha. 30
- Figura 6 - Padrões de terminações de refletores nos limites inferior e superior de uma Sismosseqüência. 36
- Figura 7 - Padrões de configurações de fácies sísmicas. 41
- Figura 8 - Geometrias externas características de algumas sismofácies. 43
- Figura 9 - Padrões dos refletores internos de algumas sismofácies em montiforma. 44
- Figura 10 - Padrões de configurações internas dos refletores das sismofácies de preenchimento. 45
- Figura 11 - Mapa de localização das linhas sísmicas As linhas SEG-Y 0214-0266 e 0214-0268 possuem direção NE-SW e as linhas SEG-Y 0214-0298 e 0214-0302 possuem direções SE-NW. 47
- Figura 12 - A figura abaixo mostra, de forma simplificada, como é feita a aquisição sísmica marinha. Nesse tipo de aquisição, um navio reboca uma fonte, (de modo geral um canhão de ar - *air-gun*), seguido por um cabo (*streamer*) contendo os hidrofones (receptores - r_1 , r_2 e r_3). O emite uma onda que viaja em subsuperfície com uma velocidade u_x que atravessa o meio de densidade ρ_x em um tempo t_x . A diferença de velocidade da onda para camadas em subsuperfície, de densidades e tempo de transito diferentes, é registrada pelos receptores contidos no streamer. 49

- Figura 13 - Geração de múltiplas na interface ar-água em uma aquisição marinha. Em (a), é mostrada uma reflexão primária. A energia emitida pela fonte (F) viaja em subsuperfície, incide na interface refletora (Σ). É espalhada e medida na superfície pelo receptor (R). Em (b), é mostrada uma reflexão múltipla. A energia emitida pela fonte (F) viaja em subsuperfície, incide em Σ , é espalhada e, ao chegar na superfície (interface ar-água), é novamente espalhada e retorna mais uma vez a subsuperfície e sofre novo espalhamento em Σ . Ao voltar para a superfície é registrada no receptor (R). 51
- Figura 14 - Seção Sísmica da Linha 0214-0266. O dado ainda em estado bruto é organizado em afastamento mínimo. As múltiplas de superfície do assoalho oceânico estão assinaladas pelas setas em vermelho. 52
- Figura 15 - Seção Sísmica da Linha 0214-0268. As múltiplas de superfície do assoalho oceânico estão assinaladas pelas setas em vermelho. 53
- Figura 16 - Seção Sísmica da Linha 0214-0298. As múltiplas de superfície do assoalho oceânico estão assinaladas pelas setas em vermelho. 54
- Figura 17 - Seção Sísmica da Linha 0214-0302. As múltiplas de superfície do assoalho oceânico estão assinaladas pelas setas em vermelho. 55
- Figura 18 - Etapas do processamento sísmico aplicado às linhas SEG-Y 0214-0266, 0214-0268, 0214-02698 e 0214-0302, da Bacia do Jequitinhonha. A figura mostra cada técnica utilizada em para cada etapa do processamento. 57
- Figura 19 - Aplicação de métodos de edição ao traço sísmico. Na figura “A”, sem a aplicação de métodos de edição, são visíveis os canais que apresentam ruídos bem como os ruídos provenientes da lâmina d’água. Na figura “B”, já com a aplicação dos métodos de edição, agora grande parte do ruído foi retirado do dado, aumentando a razão sinal/ruído, deixando apenas o sinal sísmico de interesse. 59
- Figura 20 - Modelo de um meio em subsuperfície formado por n camadas horizontais. O sinal emitido por uma fonte atravessa as camadas até alcançar uma superfície refletora e depois retorna a superfície, onde é registrada por um receptor. 60
- Figura 21 - Representação esquemática da perturbação que é gerada em F , sendo registrada em R . essa perturbação viaja pelo meio em subsuperfície com uma velocidade v . 61

- Figura 22 - Arranjo CMP. A figura mostra um arranjo de ponto médio comum não qual um ponto em subsuperfície é imageado por diversas fontes, que cujos sinais são captados por diversos receptores, gerando informações mais detalhadas desse ponto em subsuperfície, facilitando, dessa forma, o processamento. 62
- Figura 23 - Modelo de velocidade RMS resultante da velocidade estimada para as ondas sísmicas em subsuperfície antes da aplicação dos métodos para remoção de múltiplas. Linha 0214-0268, Bacia do Jequitinhonha. 63
- Figura 24 - Modelo de velocidade RMS resultante da velocidade estimada para as ondas sísmicas em subsuperfície após a aplicação dos métodos para remoção de múltiplas. Linha 0214-0268, Bacia do Jequitinhonha. 63
- Figura 25 - Fluxograma que mostra as etapas para o preparo e aplicação do método SRME. Ao fim de sua aplicação, é gerado um dado livre de múltiplas. 65
- Figura 26 - Fluxograma que mostra as etapas para a aplicação do método de deconvolução preditiva τ - p . para a aplicação dessa metodologia, o dado de entrada é aquele gerado ao final do fluxo de SRME. Ao fim de sua aplicação, é gerado um dado livre de múltiplas. 67
- Figura 27 - Exemplo de atenuação de múltiplas da linha 0214-0268 da Bacia do Jequitinhonha através da deconvolução no domínio τ - p . Em “A”, pode-se perceber a presença de múltiplas (setas em vermelho), que ocorrem ao longo de toda a porção marinha da seção. Em “B”, após a aplicação da deconvolução preditiva no domínio τ - p , percebe-se a significativa atenuação das múltiplas de superfície. 68
- Figura 28 - Fluxograma que mostra as etapas para o preparo e aplicação do método de filtragem Radon. Nessa metodologia, o dado de entrada é aquele que é gerado ao final do fluxo de deconvolução preditiva τ - p . ao fim de sua aplicação, é gerado um dado livre de múltiplas. 70
- Figura 29 - Empilhamento CDP. (a) - Famílias de ponto médio comum; (b) – Aplicada a Correção NMO; (c) Traço simulado de afastamento nulo, gerado após o Empilhamento CMP. 74
- Figura 30 - Seção Migrada da Linha SEG Y 0214-0268, da Bacia do Jequitinhonha. Essa seção foi gerada ao final da etapa de processamento, já com a aplicação das técnicas de atenuação de múltiplas. 76
- Figura 31 - Seção migrada em tempo da Linha SEG Y 0214-0268 não interpretada. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície. 80

- Figura 32 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0266 interpretada. Aqui são demarcados os principais refletores presentes na seção. Pode-se visualizar possíveis topos de camadas, falhas normais e sinclinais presentes na seção. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 e S_5). 81
- Figura 33 - Mapa estrutural da bacia do Jequitinhonha mais a posição das linhas utilizadas neste trabalho. Notar que a porção marinha das linhas 0214-0266 e 0214-0268 (vermelha e amarela, respectivamente) estão encaixadas em uma área muito deformada em virtude da formação de Maciços e Domos de Sal. 82
- Figura 34 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0268 não interpretada. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície. 84
- Figura 35 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0268 Interpretada. Aqui são demarcados os principais refletores presentes na seção. Pode-se visualizar possíveis topos de camadas, falhas normais e possíveis sinclinais. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 e S_6). 85
- Figura 36 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0298 não interpretada. Esta linha apresenta falta de informação originada quando de sua aquisição devido à falhas nas fontes e/ou receptores. Apesar disso, o processamento foi capaz de prover uma seção migrada de boa visualização de seus refletores. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície. 87
- Figura 37 - Linha 0214-0298 Interpretada. Aqui são demarcados os principais refletores presentes na seção. São visíveis possíveis topos de camadas e falhas normais. Não são visualizados sinclinais ou a continuação dos horizontes na seção, a partir do CDP 2712. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , e S_4). 88

- Figura 38 - Linha 0214-0302 não interpretada. Esta linha também apresenta falta de informação devido a problemas na aquisição (mal funcionamento das fontes/receptores, por exemplo), o que gerou uma razão sinal/ruído muito baixa em alguns de seus pontos. Entretanto, o processamento da linha ainda foi capaz de gerar uma seção migrada onde é possível a visualização parcial de seus refletores. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície. 90
- Figura 39 - Linha 0214-0302 Interpretada, com a demarcação dos principais refletores presentes na seção. Pode-se visualizar possíveis topos de camadas e falhas normais. Não são visualizados sinclinais na seção desta linha. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , e S_4). 91
- Figura 40 - Prováveis *onlaps* registrados na linha 0214-0268. **A** - prováveis *onlaps* da linha 0214-0268 são observados próximo ao topo da figura, desenvolvendo-se sobre uma superfície inclinada. **B** – marcação dos prováveis *onlaps* da linha 0214-0268. Esses prováveis *onlaps* ocorrem mais próximos ao topo da figura, sobre uma superfície inclinada. A possibilidade ser um *onlap* baseia-se no fato de que esse padrão de terminação sísmica horizontalizado assenta-se sobre uma superfície inclinada no início do talude da Bacia do Jequitinhonha 93
- Figura 41 - Prováveis padrões progradantes (elipsoide preto) e caótico (retângulo vermelho), registrados nas linhas 0214-0266 e 0214-0268. O padrão progradante sugere, juntamente com o padrão dos *onlaps*, a deposição de sedimentos em um ambiente de águas rasas, com alta carga sedimentar e grande energia de transporte. Já o padrão caótico sugere a deformação de superfícies sedimentares, o que pode ser indicativo da geração de dobras do tipo sinclinal na Bacia do Jequitinhonha. 94

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BDEP Banco de Dados de Exploração e Produção
- CDP Do inglês *Common Depth Point* (em português, Ponto Comum em Profundidade)
- CMP Do inglês *Common Mid Point* (em português, Ponto Médio Comum)
- DIP Direção de aquisição da Linha
- NMO Do inglês *Normal Moveout* (em português, Sobre tempo Normal)
- PROSIS Laboratório de Processamento Sísmico
- RMS Do inglês Root Mean Square (em português, valor quadrático médio ou valor eficaz)
- SRME Do inglês *Surface-Related Multiple Elimination* (em português, Eliminação de Múltiplas Relacionadas à Superfície)

LISTA DE SÍMBOLOS

Σ	Superfície refletora
τ - ρ	Medida de vagarosidade
V_{rms}	Velocidade RMS
F	Fonte acústica
R	Receptor
Δt_i	Tempo de trânsito da onda na i-ésima camada
V_i	Velocidade de propagação da onda na i-ésima camada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Objetivo	20
2	BACIA DO JEQUITINHONHA	21
2.1	Localização	21
2.2	Arcabouço Estrutural	23
2.3	Arcabouço Estratigráfico	28
2.3.1	Carta Estratigráfica da Bacia do Jequitinhonha.....	29
2.3.1.1	Supersequencia Rifte.....	31
2.3.1.2	Supersequencia Pós-Rifte.....	31
2.3.1.3	Supersequencia Drifte.....	32
3	Sismoestratigrafia	35
3.1	Principais conceitos utilizados na análise sismoestratigráfica	35
3.2	Padrões internos de reflexões sísmicas	36
3.3	Configuração do padrão interno das reflexões internas	39
3.4	Padrões da geometria externa das sismofácies	41
4	Dados Sísmicos	46
4.1	Aquisição dos Dados Sísmicos	48
4.2	Processamento Sísmico	56
4.3	Pré-Processamento	58
4.3.1	Geometria.....	58
4.3.2	Edição e Filtragem.....	58
4.4	Processamento Avançado	61
4.4.1	Análise de Velocidade.....	61
4.4.2	SRME - Eliminação de Múltiplas Relacionadas à Superfície Livre.....	64

4.4.3	Deconvolução Preditiva no Domínio τ - ρ	65
4.4.4	Filtro Radon.....	69
4.4.5	Correção NMO.....	71
4.4.6	Deconvolução.....	71
4.4.7	Empilhamento CMP.....	73
4.4.8	Migração.....	75
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	77
5.1	Interpretação sísmica das seções migradas em tempo	77
5.1.1	Linha 0214-0266.....	78
5.1.2	Linha 0214-0268.....	82
5.1.3	Linha 0214-0298.....	86
5.1.4	Linha 0214-0302.....	89
5.2	Interpretação sismoestratigráfica com base nas seções sísmicas migradas em tempo	92
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	96
	REFERÊNCIAS	97

1 INTRODUÇÃO

A sísmica de reflexão é o método geofísico mais utilizado na indústria do petróleo para a prospecção de hidrocarbonetos, uma vez que esse método é capaz de gerar imagens de subsuperfície com boa definição. Essas imagens devem, na medida do possível, ser fieis às estruturas geológicas. Graças às melhorias nas técnicas de processamento de dados sísmicos e devido ao avanço do estudo da Sismoestratigrafia, em alguns casos é possível até mesmo observar padrões de deposição que são total ou parcialmente visíveis nas seções sísmicas.

Neste trabalho são processadas e interpretadas quatro linhas sísmicas 2D da Bacia do Jequitinhonha, que fez parte de uma aquisição sísmica marinha realizada pela empresa *Teledyne Exploration*, a serviço da Petrobras no final dos anos de 1980, na porção do Talude da Margem Continental Brasileira. Embora não haja uma sequência única a ser aplicada em um processamento sísmico, o processamento dessas linhas 2D, foi feito com base em um fluxograma básico, que vai desde a conversão das linhas para o formato do software utilizado até a geração de seções migradas. O software utilizado para o processamento das linhas foi o ProMax 4.0 da empresa LANDMARK GRAPHICS CORPORATION.

Para a fase de interpretação das seções sísmicas migradas, tomaram-se como base alguns atributos sísmicos, que nada mais são do que uma forma de exibição das feições geológicas e estruturais e sua posterior em outras dimensões derivadas da sísmica.

Este trabalho está dividido da seguinte forma: no capítulo 2 é feita uma introdução e revisão bibliográfica sobre a Bacia do Jequitinhonha, abordando sua localização geográfica, seu arcabouço tectônico e estratigráfico e a descrição dos de poços perfurados na bacia descritos por Rangel *et. al.* (2007). No capítulo 3, é feita uma breve revisão dos conceitos aplicados a sismoestratigrafia, que serão aplicados a interpretação das seções migradas. No capítulo 4 são apresentadas informações de localização, configuração do levantamento, uma breve revisão da metodologia do processamento sísmico básico, pré-processamento aplicado ao dado, seguido das técnicas para atenuação de múltiplas e o processamento avançado. No capítulo 5 é feita a interpretação das seções sísmicas migradas em tempo, geradas de cada uma das linhas utilizadas neste trabalho, através da coerência lateral presente nos

refletores de cada seção migrada em tempo. Por fim, no capítulo 6 são apresentadas as conclusões e algumas recomendações para trabalhos que possam vir a processar e interpretar linhas sísmicas nessa mesma região da plataforma brasileira.

1.1 Objetivo

Produzir um fluxo de processamento sísmico capaz de efetuar a remoção de múltiplas de superfície, aumentar a razão sinal/ruído do sinal sísmico da Bacia do Jequitinhonha e gerar seções migradas em tempo aptas à interpretação sismoestratigráfica.

2 BACIA DO JEQUITINHONHA

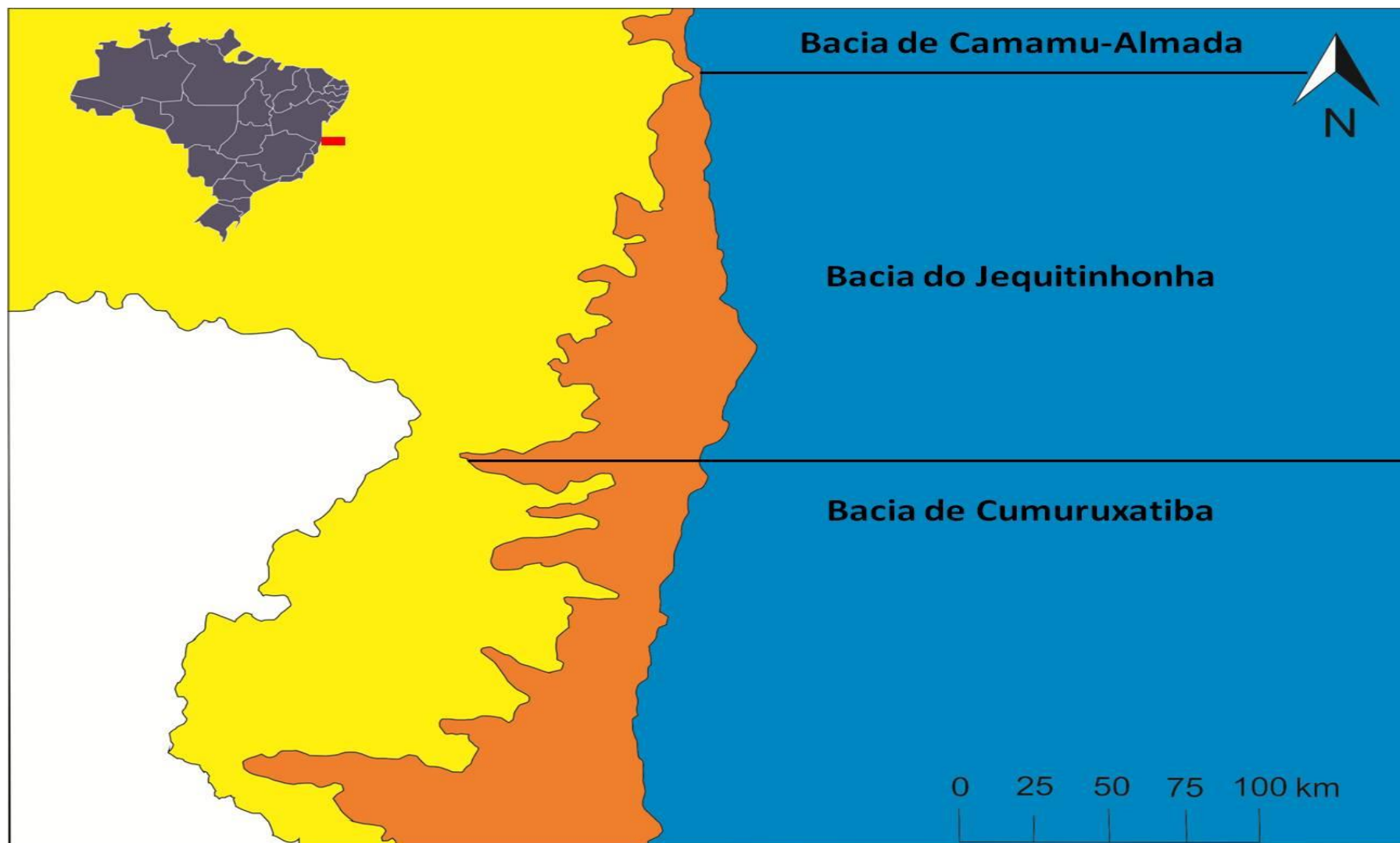
Este capítulo faz uma rápida revisão bibliográfica sobre a Bacia do Jequitinhonha, abordando sua localização geográfica, seu arcabouço estrutural, seu arcabouço estratigráfico e a descrição de poços perfurados na bacia descritos por Rangel et.al. (2007).

2.1 Localização

A Bacia do Jequitinhonha caracteriza-se como uma bacia marginal do tipo *rift* que evoluiu para uma bacia de margem passiva. Posiciona-se sobre a borda sul do Cráton São Francisco, o qual tem seu embasamento constituído por terrenos predominantemente granulíticos, total ou parcialmente retrabalhados no ciclo Transamazônico (INDA *et. al.*, 1984).

A Bacia do Jequitinhonha localiza-se na margem leste da Plataforma Continental Brasileira (Figura 1), entre os paralelos 18° 05'S e 14° 47'S, no litoral Sul do Estado da Bahia, aproximadamente próximo às cidades de Ilhéus e Porto Seguro, na região correspondente à foz do rio Jequitinhonha Caixeta *et. al.* (2006 *apud* RANGEL *et. al.*, 2007). É limitada, ao sul, pela Bacia de Cumuruxatiba, através do alto vulcânico de Royal Charlotte e a norte, pela Bacia de Almada, através do Alto da Olivença. Às proximidades do Alto da Olivença, o talude continental da bacia pode alcançar até 3000 metros de profundidade. A Bacia ocupa uma área de, aproximadamente, 10.000 km², dos quais 9.000 km² encontram-se submersos.

Figura 1 - Mapa de localização da Bacia do Jequitinhonha. A bacia é delimitada a norte e a sul pelas Bacias de Camamu-Almada e Cumuruxatiba, respectivamente.



Fonte: ANP – Agência Nacional do Petróleo (2002).

2.2 Arcabouço Estrutural

O Alto de Olivença limita a Bacia do Jequitinhonha, a norte, com a Bacia do Almada (Figura 2). Este alto se prolonga por quase 15 km mar adentro, estendendo-se como uma plataforma rasa para sul, onde penetra em direção ao continente. O sul da bacia é delimitado pelo Banco Vulcânico Royal Charlotte, o qual apresenta uma disposição E-W que, possivelmente, pode estar relacionada à direção das falhas transformantes antigas produzidas na fase de abertura do Oceano Atlântico. Associado a esta fase ocorreu magmatismo e oceânico.

A Plataforma Rasa apresenta um limite com características de falha de borda, que divide a parte rasa, a oeste, da parte mais profunda a leste, representando o limite de deposição em bacia Cretácea. A parte rasa é recoberta pelos sedimentos Cretáceo-Paleógenos, enquanto a área profunda possui o pacote sedimentar mais completo da bacia.

Na área marinha, o embasamento da plataforma continental, ao largo do Estado da Bahia, é constituído por gnaisses pré-cambrianos ou metassedimentos eocambrianos, havendo ausência de focos magmáticos a partir de 16° N. No caso da Bacia do Jequitinhonha, ocorre a presença do embasamento cristalino, que é representado por rochas graníticas e gnáissicas.

As características estruturais mostram que a Bacia do Jequitinhonha é disposta transversalmente às estruturas brasileiras, fato que pode ter condicionado a ocorrência de movimentos verticais heterogêneos, através de reativações de antigas linhas estruturais presentes no embasamento pré-cambriano, ocorridas durante e posteriores aos ciclos tecto-sedimentares mesocenozóicos (CORDANI; BRITO NEVES, 1982). As características estruturais da plataforma continental, talude continental e sopé continental na Bacia do Jequitinhonha equivalem àquelas conhecidas para a margem continental leste brasileira e área oceânica profunda adjacente. Nas bacias marginais e oceânicas são encontradas feições estruturais tais como: falhas normais, linhas de flexuras ou de charneira e estruturas transversais (lineamentos e zonas de fraturas oceânicas)

Na plataforma continental, as falhas normais são caracterizadas por ocorrerem em traços de longa extensão (centenas de quilômetros), rejeitos em torno

de 3.500m e mergulhos dos planos de falhas coincidentes com as direções estruturais do embasamento pré-cambriano (ASMUS; PORTO, 1980; ASMUS, 1984).

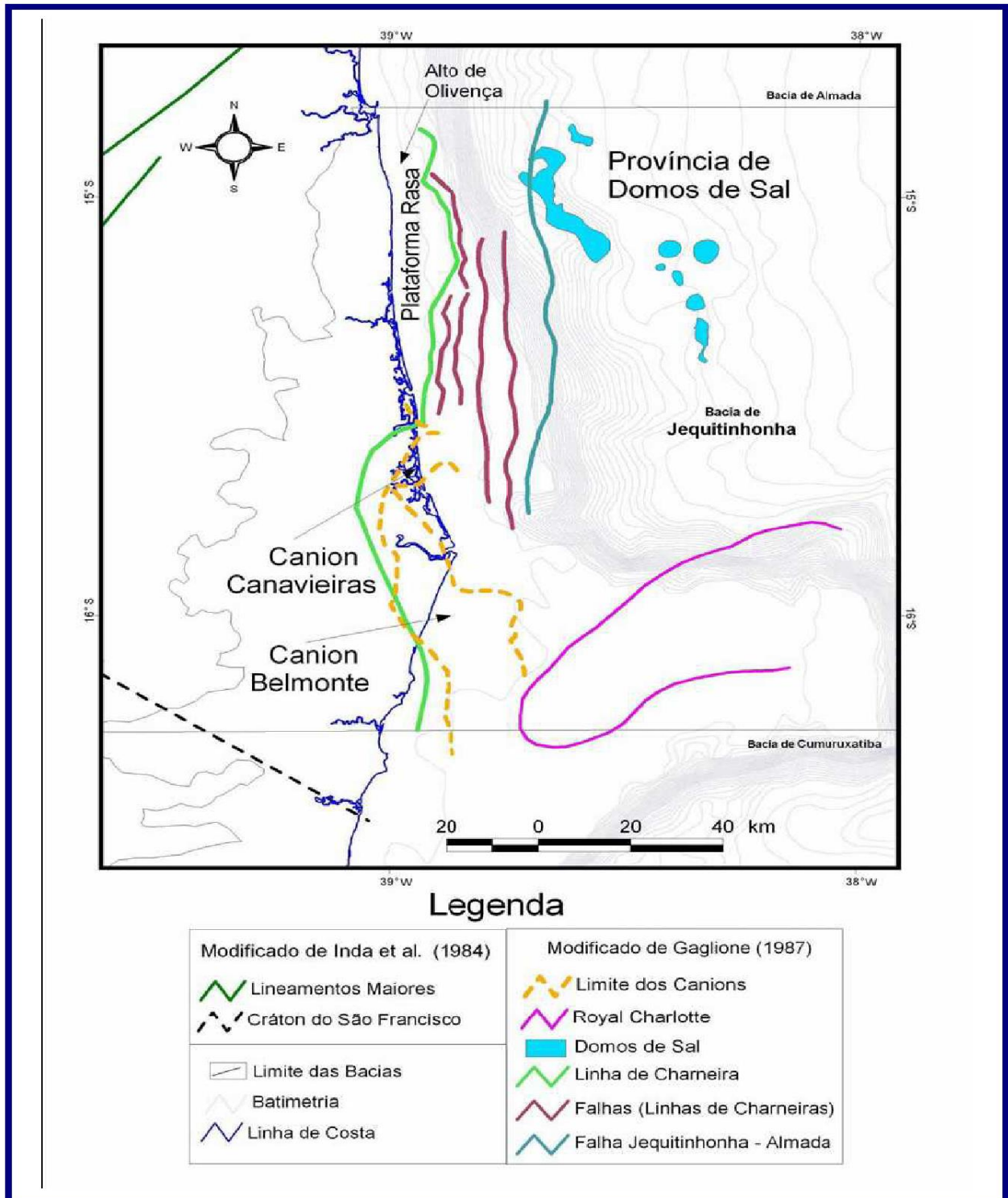
As condições do embasamento mostram-se bastante deformadas por falhamentos normais que ocorrem, em geral, paralelos aos principais alinhamentos das rochas pré-cambrianas da área costeira emersa adjacente. Essas falhas são importantes na definição e determinação das bacias tectônicas mesozóicas, onde, localmente, seus arranjos constituem-se em blocos elevados, que separam as bacias formando altos estruturais, como o Alto de Olivença, que se estende longitudinalmente à linha de costa entre Ilhéus e Canavieiras (ASMUS; PORTO, *op. cit.*).

O registro sedimentar observado na fase rifte é marcado por falhas normais que atingem o embasamento (Figura 3). A partir da falha de borda, que constitui o limite de deposição cretácea da bacia, as falhas normais aprofundam-se e estendem-se supostamente por toda a área sedimentar (CÓRDOBA, *op.cit. apud ARAUJO, op.cit.*).

Córdoba (1990) *apud* CASTILHO, 2005) propôs uma divisão informal para a Bacia do Jequitinhonha em compartimentos estruturais a partir do comportamento das falhas normais (falha de borda). São definidos os compartimentos Norte e Sul. No Compartimento Norte, a falha de borda define o início de uma sequência de blocos escalonados com mergulho preferencial para Leste. No Compartimento Sul, a falha de borda apresenta grande rejeito estimado em 2.800m.

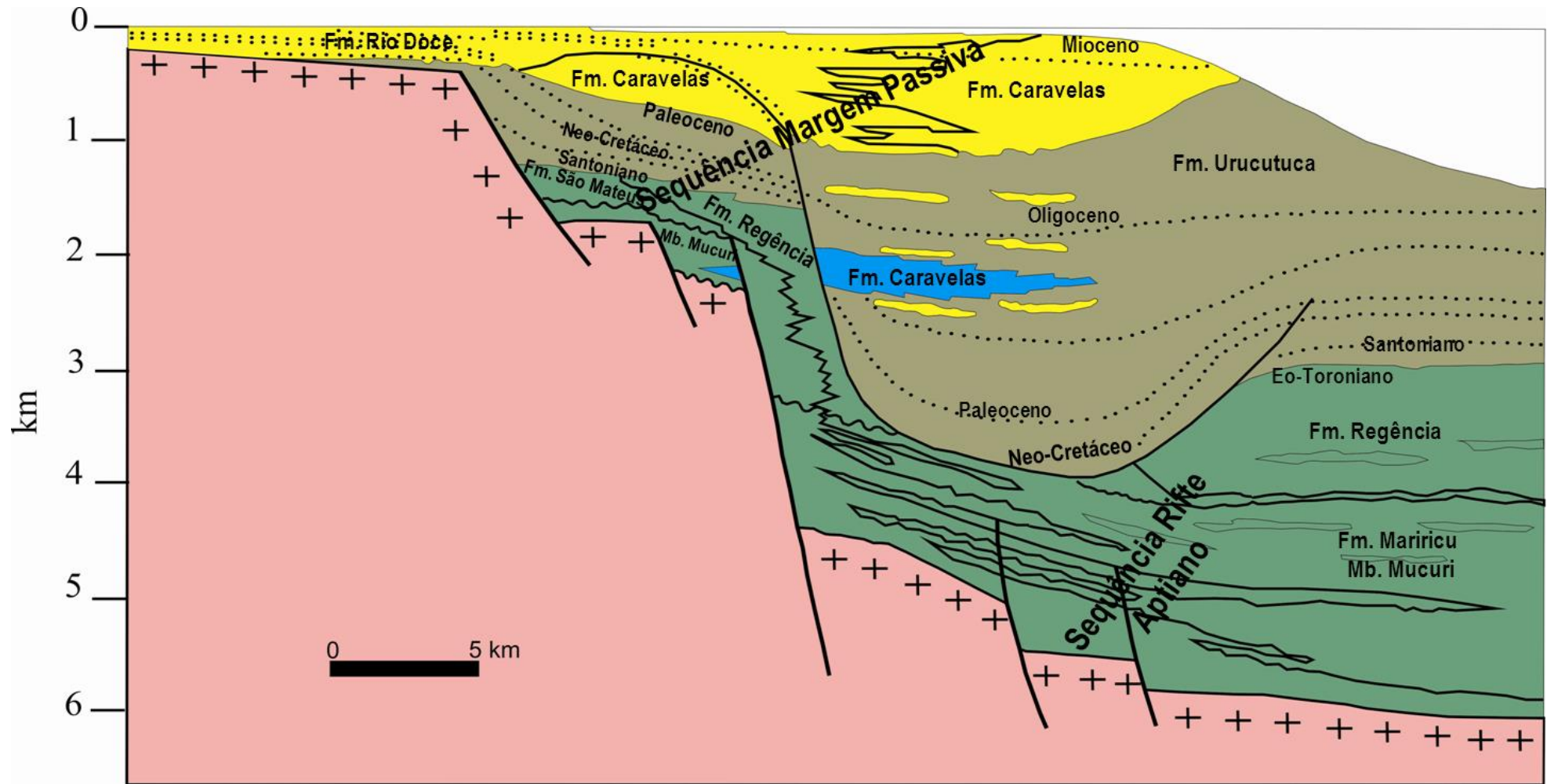
Além das estruturas tectônicas, a Bacia do Jequitinhonha apresenta estruturas atectônicas associadas aos processos halocinéticos. Essas estruturas são responsáveis pelo controle da deposição, pela deformação dos pacotes sedimentares e acúmulo de petróleo. As estruturas salinas se concentram na área associada aos basculamentos na bacia, podendo, por vezes, aflorar no fundo marinho, constituindo pequenas elevações (Figura 4).

Figura 2 - Arcabouço estrutural da bacia do Jequitinhonha. Podem-se perceber na figura as principais feições estruturais ocorrentes na bacia, além dos cânions formados na porção sul da bacia devido à falta da plataforma rasa próximo ao limite sul da bacia.



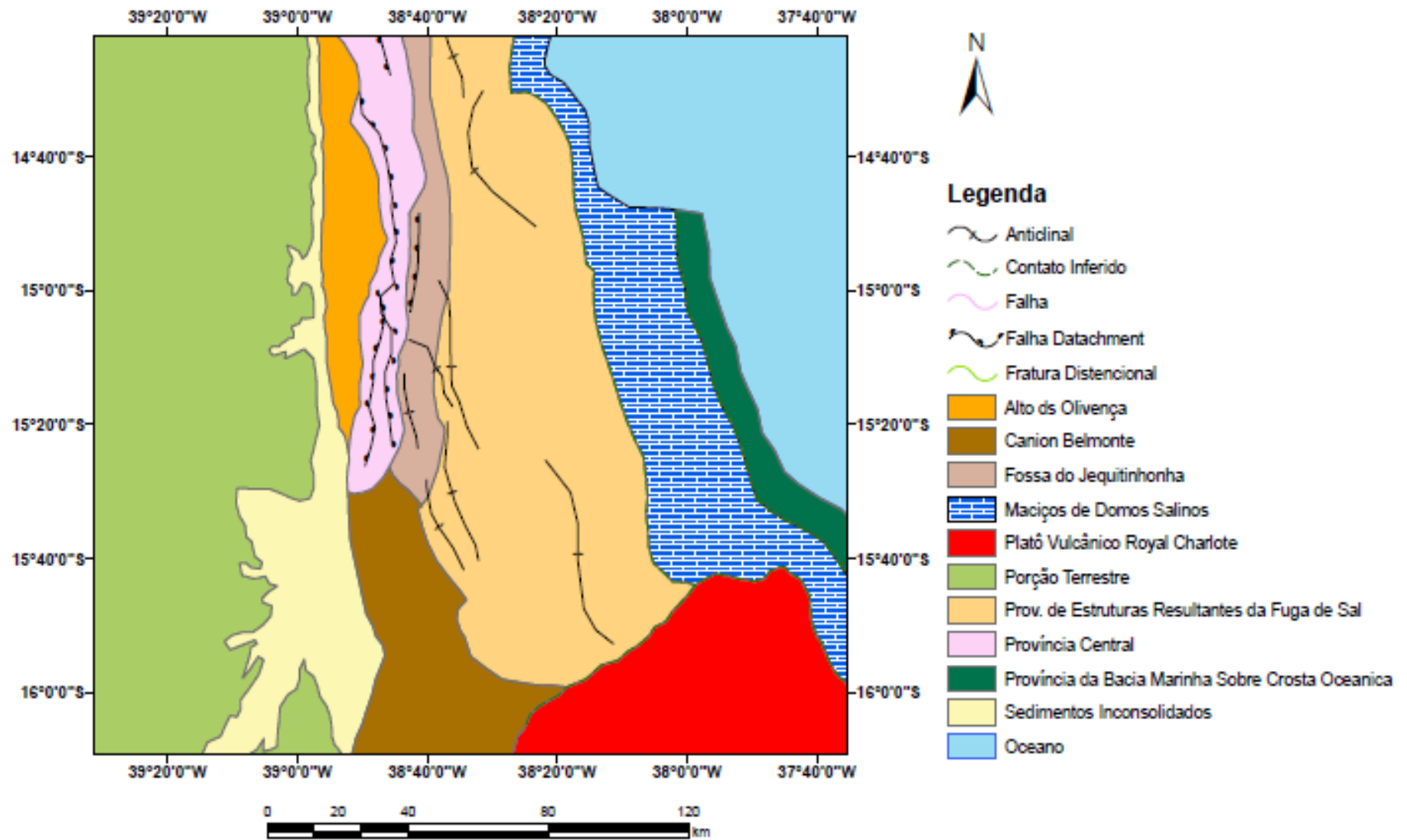
Fonte: Araújo (2007)

Figura 3 - Seção Geológica da Bacia do Jequitinhonha. Como mostra a figura, o registro sedimentar da porção *rifte* da bacia é fortemente marcado pela presença de falhas normais que cortam as seqüências sedimentares, alcançando o embasamento da bacia.



Fonte: ANP – Agência Nacional do Petróleo, (2010).

Figura 4 - Arcabouço Estrutural da Bacia do Jequitinhonha, com base na proposta da tectônica salina de Caixeta *et al.*, (2008).



Fonte: Caixeta *et al.* (2008).

2.3 Arcabouço Estratigráfico

A Carta Estratigráfica da Bacia do Jequitinhonha (Figura 5) apresenta sedimentos lacustres da fase rift iniciada no Eoaptiano, que são recobertos por evaporitos Neo-aptianos e, subsequentemente, por rochas de margem passiva do oceano aberto associadas à subsidência térmica. Santos *et. al.* (1994). Esses autores propõem que a bacia tenha evoluído segundo três Megasseqüências: e Megasseqüência *Rift*, Megasseqüência Transicional e Megasseqüência Marinha ou Pós-rifte.

Rangel *et. al.* (2007) também dividem a Bacia em três Superseqüências: Rift, Pós-rifte e Drift. Estas duas últimas seriam equivalentes, respectivamente, às Megasseqüências Transicional e Marinha de Santos *et. al.* (1994).

A Megasseqüência *Rift* caracteriza-se pela ruptura da crosta terrestre ou, neste caso, a quebra do Supercontinente Gondwana (SANTOS; GONTIJO; FEIJÓ 1994; MACEDO, 1990). Esse estágio é representado, na Bacia do Jequitinhonha, por sedimentos clásticos grosseiros, como conglomerados e arenitos continentais fluvial-deltáicos, associados a folhelhos lacustres ricos em matéria orgânica do Membro Mucuri da Formação Mucuri (ARAÚJO, 2007). Entretanto, Rangel *et. al.* (2007), ao analisar dados de poços, descreveram para essa Superseqüência a ocorrência de arenitos e folhelhos do Membro Jaguaré e coquinas e folhelhos do Membro Sernambi, ambos pertencentes à Formação Cricaré, porção inferior do Grupo Nativo.

A Megasseqüência Transicional caracteriza-se por uma fase de transição entre a abertura do oceano e a implantação de um mar restrito, marca a passagem do ambiente continental da fase rift para o ambiente marinho aberto da fase *pós-rift* (SANTOS; GONTIJO; FEIJÓ 1994). Os dados de Rangel *et. al.* (2007) concordam com os de Córdoba (SANTOS; GONTIJO; FEIJÓ 1994) para essa Superseqüência, uma vez há a deposição de arenitos e folhelhos da Formação Mariricu/Membro Mucuri, que são sobrepostos por evaporitos (predominantemente constituídos por halita e anidrita) da Formação Mariricu/Membro Itaúnas, na porção superior do Grupo Nativo.

A Megasseqüência Marinha ou Drifte formou-se durante a fase de deriva continental, evento no qual foram depositados sedimentos marinhos transgressivos durante a fase de subsidência termal da bacia, seguida por uma fase marinha regressiva (CÓRDOBA, 1990 *apud* ARAUJO, 2007). O ambiente marinho franco se instalou a partir do Eoalbio com a deposição de arenitos de leques deltaicos na borda da bacia que gradam rapidamente a carbonatos de alta energia. Esses sedimentos constituem a parte inferior do Grupo Barra Nova, composta pelas formações São Mateus (siliciclásticos grosseiros) e Regência (calcários de alta a baixa energia e níveis de folhelhos radioativos) (RANGEL *et. al.*, 2007).

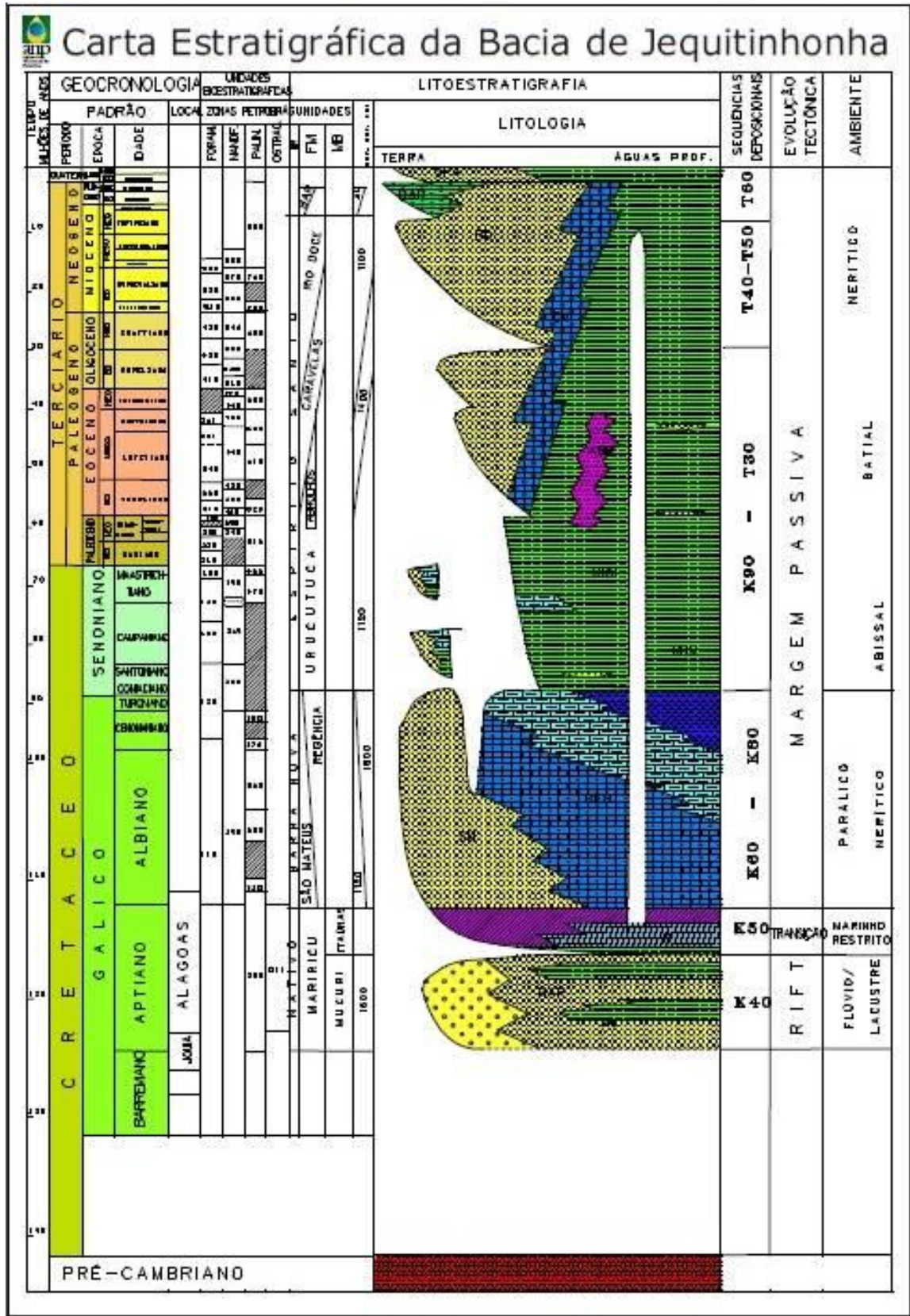
Do Neocretáceo até o Eoceno, a deposição do Grupo Espírito Santo ocorreu em ambiente francamente marinho, de caráter transgressivo, constituído por pelitos com arenitos finos intercalados da Formação Urucutuca (RANGEL *et. al.*, *op. cit.*). A partir do Eoceno, implantou-se na bacia uma fase progradante, com deposição de arenitos grosseiros característicos de leques costeiros da Formação Rio Doce, intercalada aos carbonatos da Formação Caravelas (RANGEL *et. al.*, *op. cit.*). Durante esta fase regressiva, houve continuidade da deposição da Formação Urucutuca nas porções distais da Bacia de Jequitinhonha.

A transgressão regional do Cretáceo Superior, responsável pela deposição da Formação Urucutuca, e a regressão regional Oligocênica, que marca a deposição das formações Rio Doce e Caravelas, estão possivelmente relacionadas a reajustes isostático-eustáticos a elas contemporâneos (MAGNAVITA *et. al.*, 1999).

2.3.1 Carta Estratigráfica da Bacia do Jequitinhonha.

Para melhor compreensão da Seção Geológica (Figura 3) e da Carta Estratigráfica (Figura 5) da bacia, faz-se necessário ver a distribuição das seqüências que Rangel *et. al.* (2007) fizeram para a bacia através do uso de furos de sondagem, aqui também divididas nas três Superseqüências: Rifte, Pós-Rifte e Drifte. Os próximos parágrafos que descrevem estas superseqüências foram reproduzidos do artigo publicado por Rangel *et. al.* (*op.cit.*).

Figura 5 – Carta Estratigráfica da Bacia do Jequitinhonha.



Fonte: Agência Nacional do Petróleo (2009).

2.3.1.1 Superseqüência Rifte

A Bacia do Jequitinhonha apresenta características estruturais e sedimentares que a diferencia das demais bacias da costa leste e sudeste brasileira, inclusive na seção rifte: a seção que vai dos andares Barremiano até o Aptiano Inferior (andares locais Aratu, Burracica e Jiquiá) ocorre provavelmente nas porções média e distal da bacia.

- Seqüência K30 – Esta seqüência é constituída pela Formação Cricaré, Membro Jaguaré (arenitos e folhelhos) e Sernambi (coquinas e folhelhos), englobadas na parte inferior do Grupo Nativo. Como a Formação Cricaré não foi atingida pelos poços perfurados na bacia, sua presença é interpretada pelas fácies sísmicas típicas para essa unidade atravessada por poços nas Bacias do Espírito Santo e de Campos.

2.3.1.2 Superseqüência Pós-rifte

Uma característica singular ocorreu na bacia durante o Aptiano Médio e Superior (equivalente ao andar local Alagoas Médio e Superior), pois a seção do Andar alagoas, muito espessa na parte terrestre, parece acunhar-se na porção media da bacia. Domos de sal proeminentes com direção SE-NW também de aproximam muito da borda da mesma em sua porção norte, diferentemente de outras bacias onde a progradação de sedimentos associados ao basculamento propiciou a migração de sal para suas partes mais distais.

- Seqüência K40 – sedimentos constituídos por camadas espessas de arenitos e folhelhos pertencentes à Formação Mariricu/Membro Mucuri (parte superior do Grupo Nativo), com espessura atravessada com poços de 2380m, um dos maiores registros dessa unidade estratigráfica ao longo das bacias marginais brasileiras. O acunhamento do Membro Mucuri na parte média da bacia propicia a deposição dos evaporitos (Membro Itaúnas) do Andar Alagoas diretamente sobre coquinas e folhelhos do andar Jiquiá.
- Seqüência K50 – É constituída por halita e anidrita englobadas na Formação Mariricu/Membro Itaúnas. A precipitação de evaporitos aconteceu num tempo geológico de menos de dois milhões de anos. Os evaporitos (basicamente

halita) 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 de seqüência superiores. A intensa movimentação do sal propiciou também o escorregamento de blocos sobrejacentes de arenito e calcários do Albiano, criando grandes baixos estruturais, inclusive a Fossa do Jequitinhonha. Durante a deposição de Seqüência K50 ocorreu a ruptura da crosta continental e a implantação da crosta oceânica na Bacia de Jequitinhonha.

2.3.1.3 Superseqüência Drifte

O ambiente marinho se instalou a partir do Eoalbiano com a deposição de leques deltaicos na borda da bacia que gradam rapidamente a carbonatos de alta energia. Esses sedimentos constituem a parte inferior do Grupo Barra Nova, composta pelas formações São Mateus (siliciclásticos grosseiros) e Regência (calcários de alta a baixa energia e níveis de folhelhos radioativos). A sedimentação durante o Albiano foi muito influenciada pela movimentação do sal da seqüência sotaposta, propiciando a formação de um grande e espesso alto estrutural, com direção N-S na parte proximal da bacia, localizado a sudeste do Alto de Olivença e da Fossa do Jequitinhonha.

- Seqüência K60 - Ocorre um afogamento gradacional da base para o topo do Grupo Barra Nova, os sedimentos passam de alta energia na base para baixa energia no topo. No andar Albiano Inferior, níveis de afogamento são marcados pela presença de camadas de folhelho. O topo dessa seqüência é capeado por uma discordância regional, que se torna concordante na parte distal da bacia.
- Seqüência K70 – Corresponde aos arenitos da Formação São Mateus na borda da bacia, que gradam para calcilutitos pertencentes à Formação Regência. Existência de baixos estruturais e na porção distal da bacia ocorre a presença de margas.

- Seqüência K82-K84 - Arenitos proximais da Formação São Mateus e calcilitos e margas da Formação Regência, pertencentes e parte superior do Grupo barra Nova.
- Seqüência K86 - Porção basal do Grupo Espírito Santo, referente ao andar Turoniano, caracterizado por folhelhos da Formação Urucutuca.
- Seqüência K88-K90 - Parte inferior do Grupo Espírito Santo, referente aos andares Eo-Coniaciano ao Meso-Campaniano, constituída por folhelho e camadas de turbiditos arenosos nas partes média e distal da bacia, depositados em água profunda.
- Seqüência K100-K110 - Limite inferior é constituído pela base da seção retrogradante da Seqüência K88-K90 e por folhelhos bacinais e arenitos turbidíticos e por seção de folhelhos, margas e arenitos na parte proximal da bacia.
- Seqüência K120-K130 - Engloba os sedimentos dos andares Neocampaniano a Maastrichtiano, constituídos por folhelhos, margas e arenitos turbidíticos pertencentes à Formação Urucutuca, parte inferior do Grupo Espírito Santo.
- Seqüência E10-E30 - Constituído basicamente por folhelhos com intercalações de arenito turbidíticos na parte distal da bacia, englobados na Formação Urucutuca, parte média do Grupo Espírito Santo.
- Seqüência E40-E50 - Mudança do padrão deposicional passando de uma deposição retrogradacional para progradacional. Na região onde os domos de sal são mais proeminentes é comum o soerguimento da seção que aflora localmente no fundo do mar.
- Seqüência E60 - A porção proximal é constituída por sedimentos de arenitos de plataforma (Formação Rio Doce) e carbonatos de plataforma (Formação Caravelas) que gradam para folhelhos de talude até a parte mais distal.
- Seqüência E70 - Caracterizado por arenitos (Formação Rio Doce) e calcarenitos (Formação Caravelas) de plataforma que passa a folhelhos (Formação Urucutuca) em direção à bacia.

- Seqüência E80-N20 – Constituído por delgadas camadas de calcilitos intercaladas com folhelhos e margas, formado por cocólitos em um estágio avançado de cimentação calcífera.
- Seqüência N30-N50 - Basicamente formada por arenitos e calcarenitos na área de plataforma rasa da bacia. No talude ocorre espessa seção de argilito devido a pouca compactação de sedimentos argilosos nessa parte da bacia.

3 SISMOESTRATIGRAFIA

A Sismoestratigrafia é um método de interpretação estratigráfica a partir de informações obtidas de dados sísmicos, que permite uma melhor compreensão da evolução tectono-sedimentar de uma bacia sedimentar. O aparecimento da sismoestratigrafia deveu-se à revolução tecnológica introduzida pelos computadores, que influenciou grandemente nas técnicas de aquisição e processamento de dados sísmicos, que melhorou a qualidade da resolução dos dados sísmicos, permitindo uma visualização dos detalhes das feições deposicionais e estratigráficas (RIBEIRO, 2001). O conhecimento obtido através do estudo da sismoestratigrafia serviu de base para o aparecimento da *Estratigrafia de Seqüências*, definida como o estudo de relações de rochas sedimentares dentro de um arcabouço cronoestratigráfico de estratos relacionados geneticamente, o qual é limitado por superfícies de erosão ou não-deposição, ou por suas concordâncias relativas (RIBEIRO, 2001).

Neste capítulo será feita uma breve revisão dos conceitos aplicados a Sismoestratigrafia, que foram utilizados à interpretação das seções migradas em tempo, resultantes da fase de processamento.

3.1 Principais Conceitos Utilizados na Análise Sismoestratigráfica

Os conceitos mais importantes utilizados na análise sismoestratigráfica foram apresentados à comunidade científica no *Memoir # 26 da American Association of Petroleum Geologists*, sendo que, posteriormente, alguns destes foram modificados. Neste item, serão apresentados os principais conceitos utilizados durante a análise sismoestratigráfica.

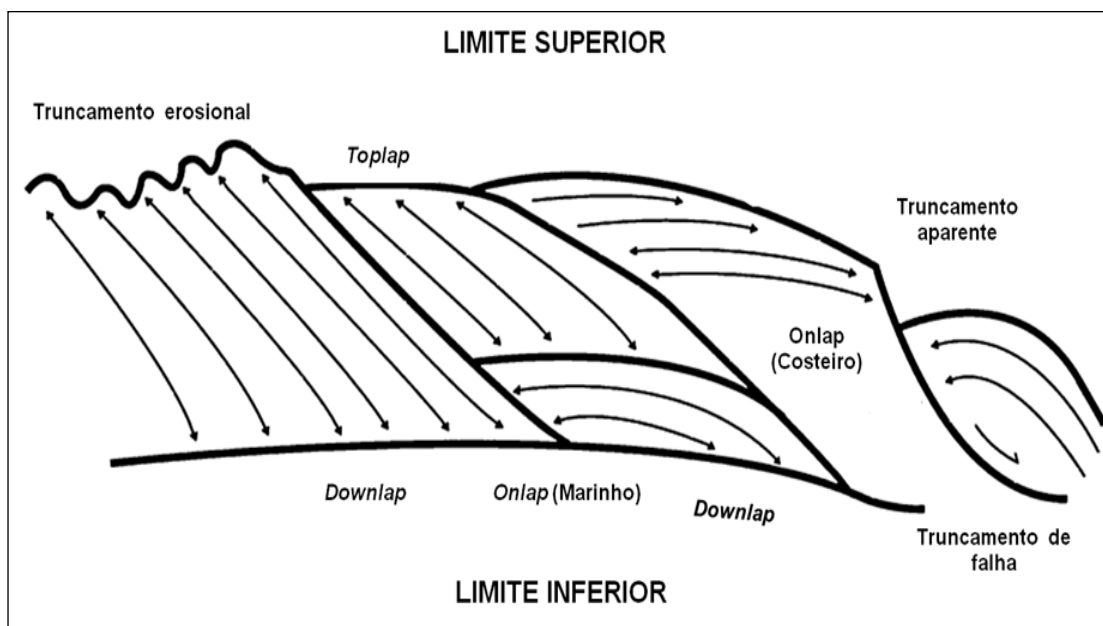
- Sismosseqüência - O primeiro conceito a ser definido é o de sismosseqüência, que, como o próprio nome diz, é a seqüência deposicional identificada em uma seção sísmica (VAIL; MITCHUM; THOMPSON, 1977). Esta sismosseqüência, a exemplo da seqüência deposicional, é limitada por discordâncias no topo e na base, as quais são identificadas a partir dos padrões de terminações de reflexões sísmicas.
- Discordâncias - Uma discordância é definida, segundo Van Wagoner *et al.* (1988), como uma superfície que separa estratos mais novos de estratos mais

antigos, ao longo da qual há evidência de exposição subaérea ou de erosão subaérea, com significativo hiato associado. Esta definição modifica a de Mitchum *et al.* (1977a), que considerava discordância como “*uma superfície de erosão ou não deposição que separa estratos mais novos dos mais antigos e representa um hiato significativo*”. O tipo de discordância é baseado na maneira que o estrato termina contra o limite discordante de uma seqüência deposicional ou uma sismosseqüência.

3.2 Padrões Internos de Reflexões Sísmicas

Para definir uma sismosseqüência deve-se identificar e marcar terminações de reflexões. A análise sismoestratigráfica pode ser realizada a partir das relações de terminações de refletores descritas a seguir e das características desses refletores, os quais compõem uma fácies sísmica. Estas terminações são caracterizadas numa seção sísmica bidimensional pelas relações geométricas entre a reflexão e a superfície sísmica contra a qual ela termina. Mitchum Jr. *et al.* (1977a) introduziram os termos *lapout*, truncamento, *baselap*, *toplap*, *onlap* e *downlap* para descrever os principais padrões de terminações de reflexões mais comumente utilizados nas interpretações sismoestratigráficas (Figura 6).

Figura 6 - Padrões de terminações de refletores nos limites inferior e superior de uma Sismosseqüência



Fonte: Emery e Myers (1996).

Lapout é a terminação lateral de um refletor (geralmente um plano de acamamento) contra seu limite deposicional original, enquanto **truncamento** implica que o refletor originalmente se estendia para mais adiante, mas foi erodido (truncamento erosional) ou foi truncado por um plano de falha, por uma superfície de escorregamento, pelo contato com uma camada de sal ou folhelho móvel ou por uma intrusão ígnea.

Baselap é o *lapout* que ocorre no limite inferior de uma unidade sísmica e o **Toplap** é o *lapout* que ocorre no limite superior de uma unidade sísmica. O *baselap* consiste de dois tipos de reflexões a) **downlap**, onde o mergulho da superfície é menor que o mergulho do estrato sobrejacente e b) **onlap**, onde o mergulho da superfície é maior que o mergulho dos estratos sobrejacentes.

O **downlap** (Figura 6) localiza-se freqüentemente na base de clinofomas progradantes e geralmente representa a progradação de uma margem de bacia em direção à águas profundas. O *downlap* é o padrão que representa uma mudança na deposição de sedimentos marinhos na bacia ou a ocorrência da não deposição. A superfície de *downlap* representa uma unidade marinha condensada, a qual é extremamente difícil de ser gerada em ambiente subaéreo. As terminações de reflexões interpretadas como *downlap* podem, em muitos casos, serem terminações aparentes, principalmente, onde os estratos distais são adelgaçados e estão abaixo da resolução sísmica (EMERY; MYERS, 1996).

O **onlap** (Figura 6) é reconhecido nos dados sísmicos pelas reflexões de terminações de baixo ângulo contra uma superfície sísmica inclinada. Dois tipos de *onlap* são reconhecidos: o **onlap marinho** e o **onlap costeiro**. O *onlap* marinho, como o próprio nome diz, é o *onlap* dos estratos marinhos, representando uma mudança de deposição marinha para não-deposição marinha ou condensação e resulta do preenchimento parcial do espaço por sedimentos marinhos. Os padrões de *onlap marinho* não podem ser usados para determinar mudanças no nível relativo do mar, porque o nível de *onlap* marinho não é relacionado diretamente com o nível relativo do mar. O *onlap* marinho reflete uma mudança de fácies submarinas de significantes taxas de deposição para sedimentos pelágicos de muito baixa energia. A superfície sísmica de *onlap* marinho representa um hiato marinho ou um intervalo condensado.

O *onlap* costeiro é o *onlap* de estratos não marinhos, parálicos ou marinhos marginais e representa a mudança de uma zona de deposição sedimentar na bacia para uma zona de erosão e não deposição de uma bacia marginal (subaérea ou de plataforma). O *onlap* costeiro geralmente é inferido através de dados sísmicos. O *onlap* costeiro corresponde à linha de costa e o progressivo *onlap* costeiro em direção ao continente pode acompanhar uma transgressão ou uma regressão dependendo da taxa de suprimento sedimentar (EMERY; MYERS, 1996).

Toplap é a terminação de reflexões inclinadas (clinoformas) contra uma superfície de baixo sobrejacente, representa um limite deposicional proximal (Figura 6). Nos estratos marinhos marginais, o *toplap* representa uma mudança de deposição inclinada para *bypass* ou erosão não-marinha ou marinha rasa e é caracterizado como uma discordância. Num ambiente marinho profundo, uma superfície aparente de *toplap* é muito mais provável de ser uma superfície de erosão marinha como visto nos contornitos sendo, neste caso, uma superfície localizada e não cobrindo uma grande área.

Truncamento erosional é a terminação de estratos contra uma superfície erosional sobrejacente (Figura 6). O truncamento erosional é mais erosivo do que o *toplap* e implica no desenvolvimento de um relevo erosional ou no desenvolvimento de uma discordância angular. A superfície de erosão pode ser marinha, como a base de um cânion, um canal ou uma superfície de escorregamento ou uma superfície de erosão não-marinha desenvolvida num limite de sequências.

Truncamento aparente é a terminação de reflexões sísmicas de relativamente baixo ângulo abaixo de uma superfície sísmica inclinada (Figura 6), onde esta superfície representa uma condensação marinha. Esta terminação representa um limite deposicional distal geralmente no topo das camadas, mas algumas vezes dentro de leques submarinos.

Truncamento estrutural representa a terminação lateral de reflexões de um estrato por interrupção estrutural. Este truncamento é mais facilmente reconhecido quando ele atravessa uma camada dentro de uma sequência ou um grupo de seqüências. A interrupção estrutural pode ser produzida por um plano de falha sin ou pós-deposicional escorregamento, deslizamento ou plano de intrusão ígnea. A terminação contra um antigo plano de falha é *onlap* (Figura 6).

Conformidade ocorre quando as reflexões de duas unidades sísmicas ou seqüências adjacentes apresentam-se paralelas com a superfície que as delimita (EMERY; MYERS, 1996). A concordância pode ocorrer no topo ou na base de uma unidade sísmica ou seqüência.

3.3 Configuração do Padrão das Reflexões Internas

A configuração interna das reflexões é o parâmetro de sísmofácies que melhor a caracteriza; por conseguinte, é o mais utilizado para sua análise (RIBEIRO, 2001). As configurações **paralelas/subparalelas** (Figura 7a) indicam uma taxa de deposição uniforme dos estratos na bacia, sobre uma superfície estável ou numa plataforma uniformemente que tenha sofrido subsidência. Mitchum Jr. *et. al.* (1977a) descreveram alguns padrões básicos de configurações internas de refletores, que serão mostrados na Figura 7.

A configuração **divergente** (Figura 7b) pode indicar uma variação em área na taxa de deposição, inclinação progressiva do substrato (*tilting*) ou os dois fatores juntos. As configurações **progradantes** (Figura 7c) ocorrem em áreas onde os estratos superpõem-se lateralmente, constituindo-se em superfícies inclinadas denominadas **clinoformas**, que podem ocorrer em diversos tipos de ambientes. Os padrões das clinoformas diferem em função das variações na razão de deposição e profundidade da lamina d'água. As clinoformas podem ser oblíquas (paralelas e tangenciais), sigmoidais, complexo sigmoidal-obliquo e *shingled*.

No padrão **oblíquo**, o ângulo de mergulho é relativamente alto. As terminações de reflexões mergulho acima são em *toplap* e mergulho abaixo em *downlap*. O padrão das clinoformas oblíquas pode ser: a) **tangencial**, quando o mergulho do *foreset* diminui gradualmente na sua porção inferior, suavizando no *bottomset* (Figura 7c) e, b) **paralelo**, quando a terminação mergulho abaixo se der em alto ângulo contra a superfície inferior da seqüência ou unidade sísmica (Figura 7c). Esse tipo de padrão combina condições de suprimento sedimentar relativamente alto com pouca ou nenhuma subsidência, mais um nível do mar estacionário, indicando águas rasas e alta energia de deposição.

As clinoformas **sigmoidais** (Figura 7c) caracterizam-se pela disposição lateral em forma de "S", através do crescimento progressivo em superfícies que mergulham

suavemente para águas profundas. Esse tipo de clinofoma sugere baixa taxa de suprimento sedimentar, subsidência contínua ou subida relativamente rápida do nível do mar num ambiente deposicional de baixa energia. O complexo sigmoidal-oblínquo combina os padrões sigmoidal e oblínquo dentro de uma fácies sísmica, originando-se num ambiente deposicional de alta energia, onde ocorre a alternância de processos construtivos (sigmoides) e *by-pass* sedimentar nos *topsets* (oblínquo).

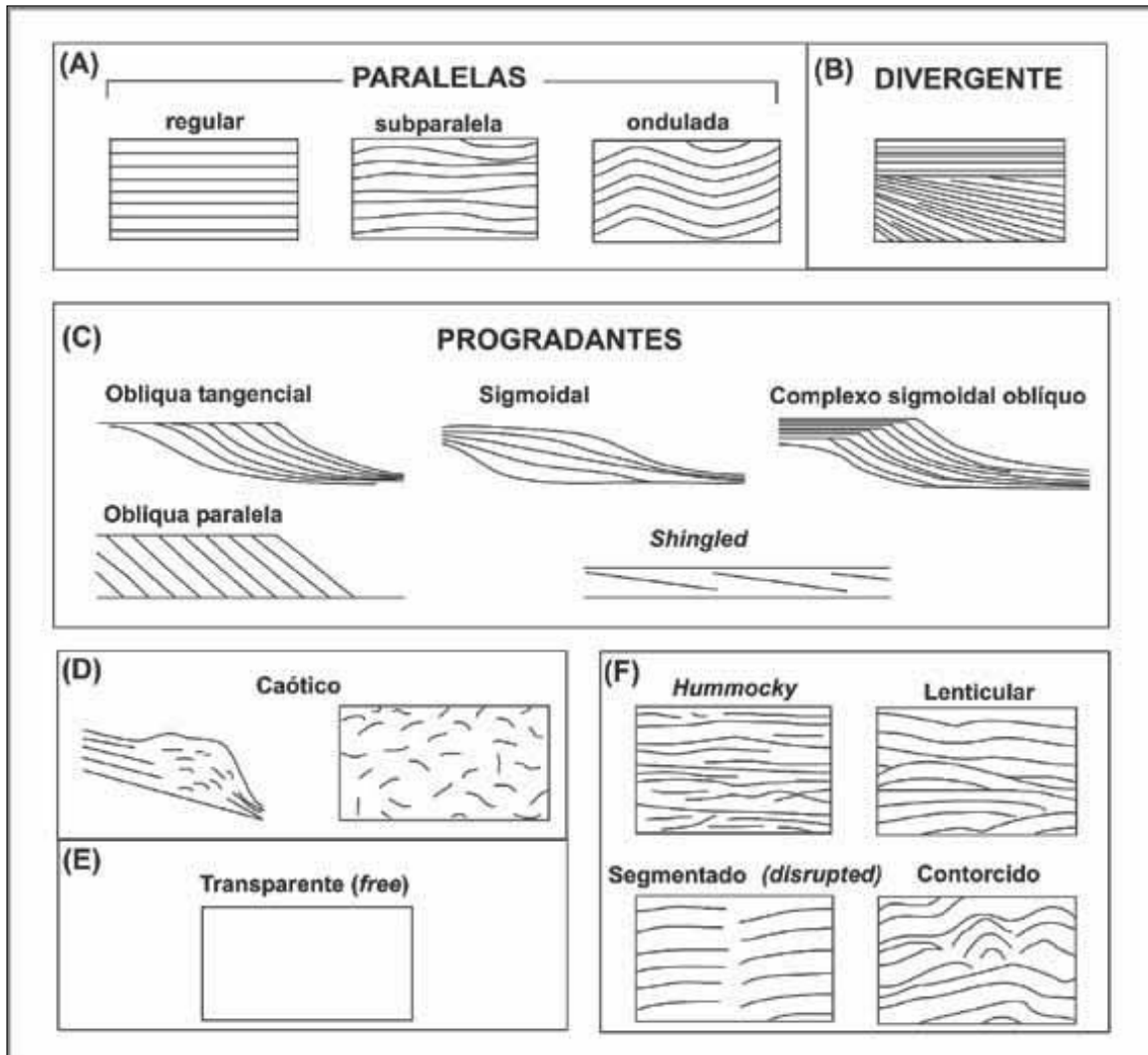
A configuração ***shingled*** (Figura 7c) é um padrão progradante de pouca espessura, com os limites superior e inferior paralelos, cujos refletores internos apresentam mergulhos suaves terminando em *toplap* aparente e *downlap*. Este padrão está associado com ambientes deposicionais de águas rasas.

As configurações ***caóticas*** (Figura 7d) consistem em reflexões discordantes e descontínuas, que sugere um arranjo desordenado das superfícies de reflexão, o que pode indicar um ambiente de energia alta e variável, deformações penecontemporâneas ou posteriores à deposição. Estas reflexões podem ser interpretadas em estratos com dobramentos, falhas pequenas, estruturas de escorregamento ou convolutas.

O padrão de ***configuração transparente*** (*reflection free*) (Figura 7e) indica intervalos livres de reflexões que podem caracterizar pacotes sedimentares intensamente redobrados ou com mergulhos muito abruptos, como também litologias homogêneas para o método sísmico como alguns tipos de folhelhos, arenitos espessos, carbonatos maciços, camadas de sal ou corpos ígneos.

A configuração ***hummocky*** (Figura 7f) apresenta refletores descontínuos, irregulares, subparalelos, formando um padrão ondulado segmentado com terminações não sistemáticas. Esse padrão grada lateralmente para padrões de clinofomas maiores e melhor definidos e, em direção ao topo, grada para reflexões paralelas. Esse tipo de padrão é interpretado, geralmente, como lobos de estratos interdigitados no Pro-Delta ou leques ou numa posição Inter-Deltas. Os outros padrões de configurações, como lenticular, segmentado, contorcido, wavy, etc., (Figura 7f) são variações dos padrões básicos.

Figura 7 - Padrões de configurações de fácies sísmicas



Fonte Mitchum Jr. *et. al.*, (1977a *apud* RIBEIRO, 2001).

3.4 Padrões da Geometria Externa das Sismofácies

Uma compreensão das formas externas tridimensionais e as associações de fácies sísmicas são importantes na sua análise. Algumas das formas externas, como os *mounds* e o preenchimento (*fills*), podem ser subdivididas em subtipos, que dependem de sua origem, do padrão de configuração interno das reflexões sísmicas e das modificações na forma externa. Mitchum Jr. *et. al.* (1977b) definem estas geometrias, associando a elas os depósitos sedimentares mais frequentes.

Lençóis, cunhas e bancos (Figura 8) são as unidades de fácies sísmicas mais comuns em plataformas e podem ser de grandes dimensões. Uma variedade de padrões paralelos, divergentes e progradantes compõem as configurações internas

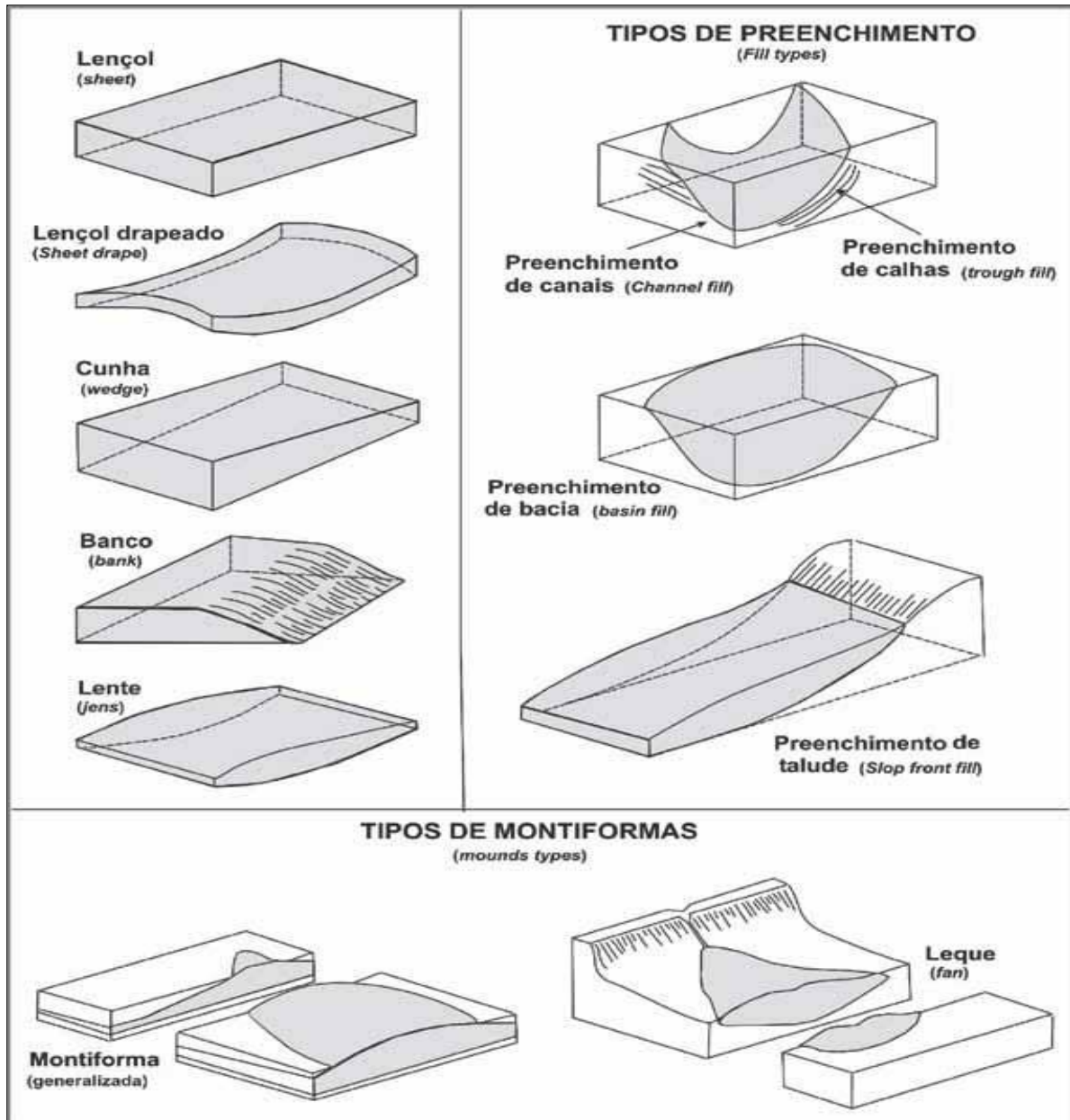
das reflexões destas unidades. O padrão em lençol ondulado (*sheet drape*) geralmente consiste de reflexões paralelas interpretadas como estratos ondulados de acordo com a topografia subjacente num padrão que sugere deposição uniforme, em ambiente marinho profundo, com baixa energia, independente do relevo do fundo. As formas em lentes podem ocorrer em muitas associações de fácies sísmicas, mas são as formas externas mais comuns em de clinofomas progradantes. Os *mounds* e *fills* são os padrões de preenchimento de formas sísmicas derivados de estratos de diferentes origens, formando saliências ou depressões preenchidas nas superfícies deposicionais.

Os ***mounds*** são configurações de reflexões interpretadas como estratos que formam elevações ou saliências acima do nível geral das camadas circundantes. Muitos *mounds* são originados por processos deposicionais marinhos clásticos, vulcânicos ou orgânicos. Geralmente são de pequeno porte e seus limites externos podem ser definidos em seções sísmicas e são caracterizados por *onlap* e *downlap* dos estratos sobrejacentes os quais preenchem o espaço ao redor dos *mounds*. Por causa de suas diversas origens, os *mounds* têm diferentes formas externas, bem como diferentes configurações estratigráficas internas. É feita uma subdivisão descritiva desse tipo de forma, baseada na configuração interna e geometria externa, a qual é considerada somente um passo preliminar na interpretação genética dos *mounds*. Leques de assoalho de bacia, lobos, escorregamentos, construções carbonáticas e recifes e cones vulcânicos têm este tipo de configuração bidimensional. A Figura 9 mostra os diversos tipos de *mounds*, sua forma bidimensional externa e a configuração de reflexão interna de alguns grupos genéticos.

Os padrões de reflexão de **preenchimento** são interpretados como estratos que preenchem feições de relevo negativo. As reflexões subjacentes podem mostrar truncamento erosional ou concordância ao longo da superfície basal da unidade de preenchimento. Unidades de preenchimento podem ser classificadas pela sua forma externa (Figura 10). Os padrões de preenchimento representam estruturas de origens variadas, como canais erosionais, preenchimento de cânion, leques, escorregamentos, entre outros. Grandes estruturas de preenchimento podem ser mapeadas como entidades separadas; porém, se o tamanho e a resolução

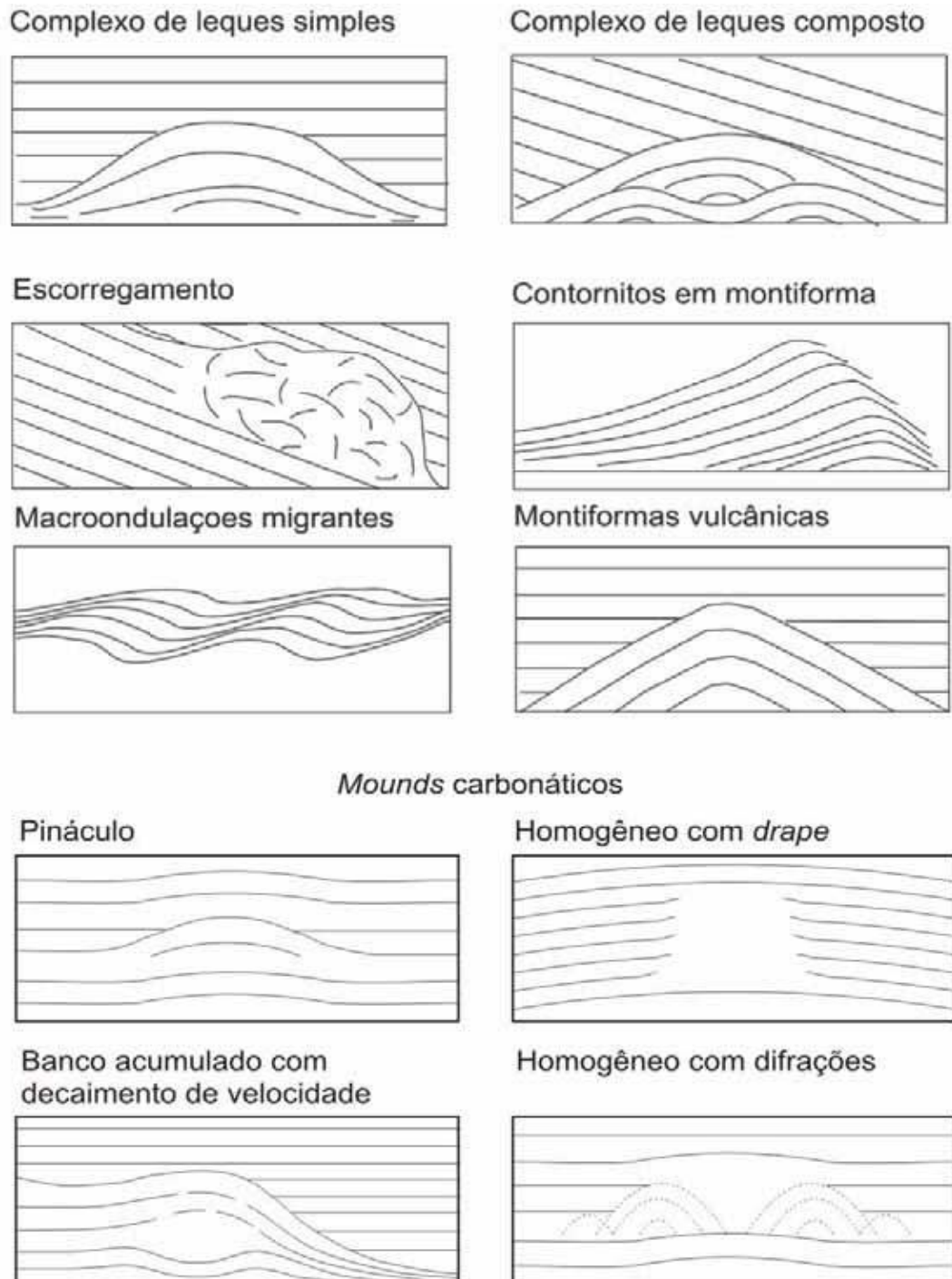
diminuírem, estas feições podem ser agrupadas em complexos ou tratadas como feições subordinadas de grandes unidades sísmicas (Figura 10)

Figura 8 – Geometrias externas características de algumas sismofácies



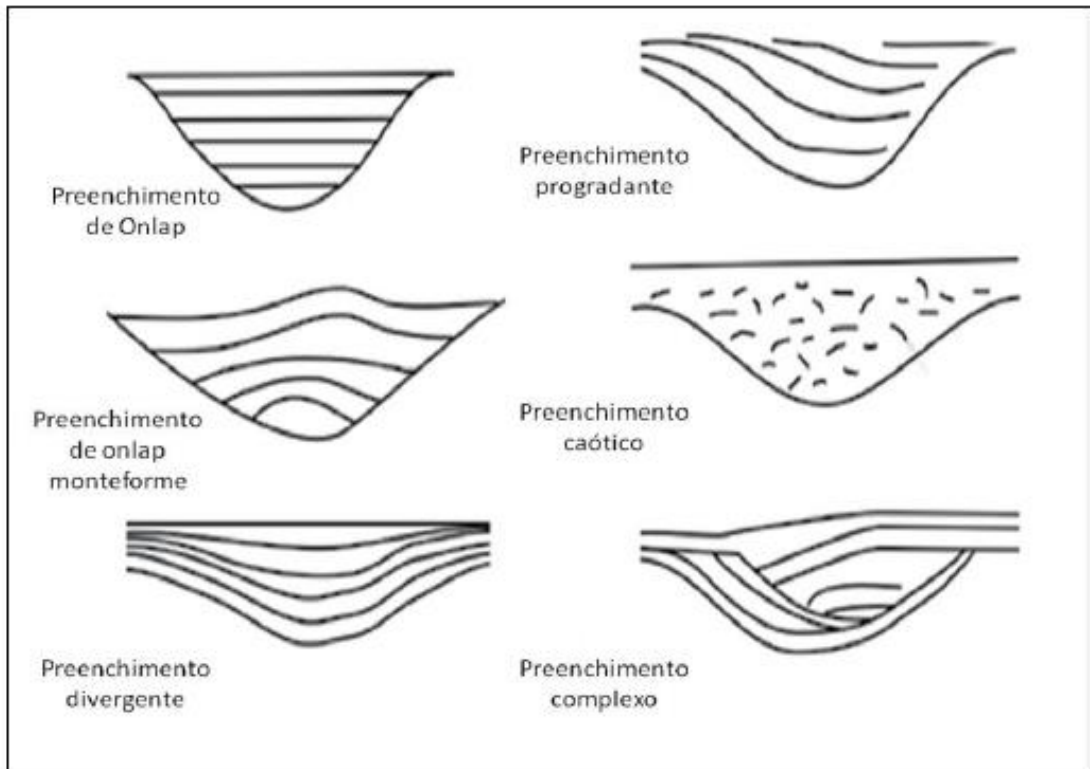
Fonte: Mitchum Jr. et. al., (1977b).

Figura 9 - Padrões dos refletos internos de algumas sismofácies em montiforma.



Fonte: Ribeiro (2001).

Figura 10 - Padrões de configurações internas dos refletores das sismofácies de preenchimento.



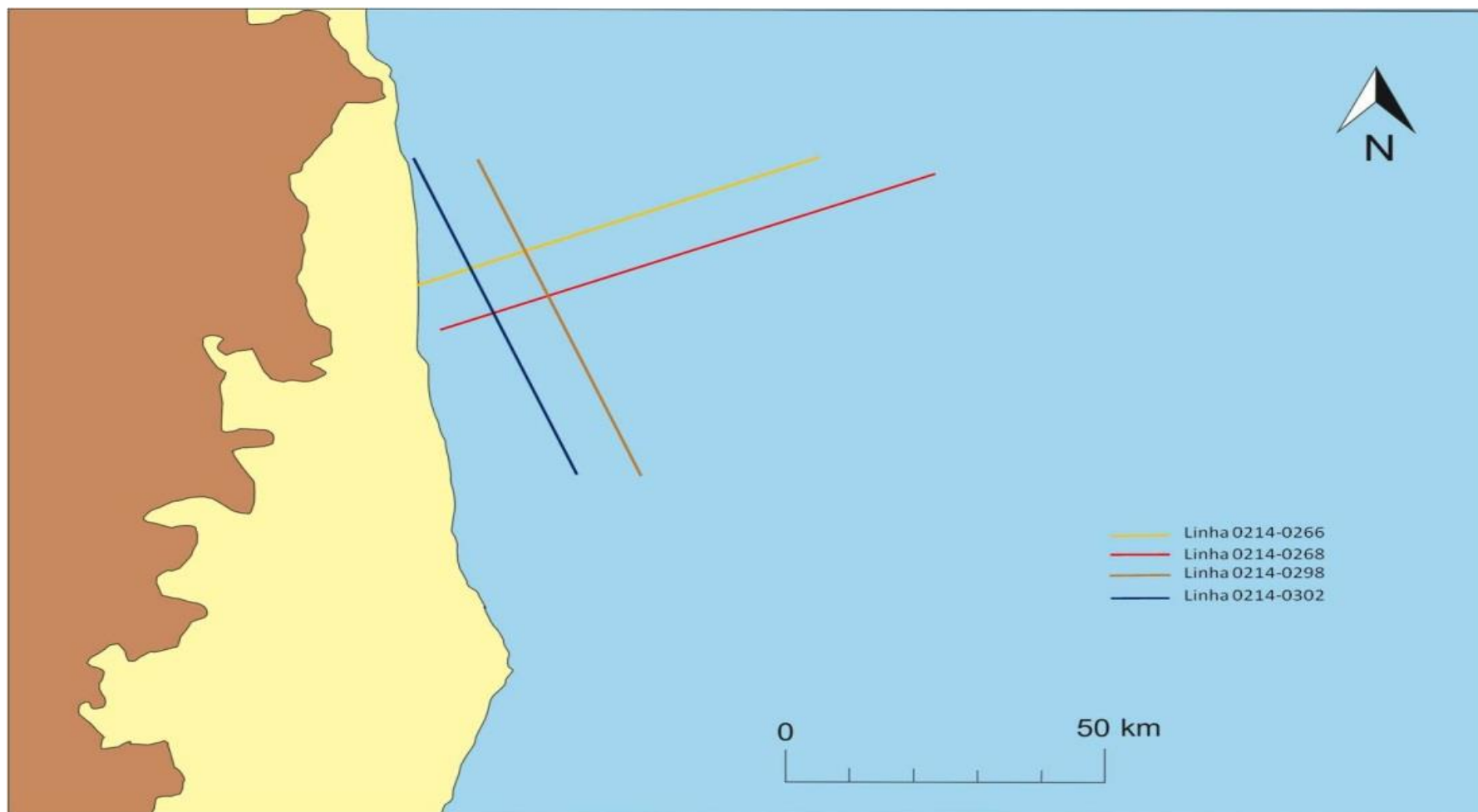
Fonte: Mitchum Jr. *et. al.*, (1977b).

4 DADOS SÍSMICOS

Os dados sísmicos utilizados neste trabalho foram cedidos pela PETROBRAS para o Laboratório de Processamento Sísmico (PROSIS). Os dados consistem em 4 linhas sísmicas 2D marinhas (linhas 0214-0266, 0214-0268, 0214-0298 e 0214-0302) da região de talude continental da Bacia do Jequitinhonha (Figura 11). As quatro linhas são do tipo “*DIP*”, onde a aquisição se dá perpendicular à direção do talude, acompanhando sua declividade. A aquisição das linhas que foram utilizadas nesse trabalho se deu próximo ao continente, em estilo de arraste de cabo marinho, ainda em partes da plataforma continental externa e na porção mais proximal do talude continental. As linhas 0214-0266 e 0214-0268 foram obtidas no sentido continente-oceano, com direção NE-SW, enquanto as linhas 0214-0298 e 0214-0302 foram obtidas no sentido oceano-continente, com direção SE-NW.

Neste capítulo serão apresentadas as informações de localização das linhas sísmicas, a configuração da aquisição sísmica marinha dos dados utilizados neste trabalho, o processamento sísmico aplicado a esses dados, as técnicas de atenuação de múltiplas e realce de reflexões primárias e a geração de seções sísmicas migradas em tempo.

Figura 11: Mapa de localização das linhas sísmicas. As linhas SEG-Y 0214-0266 e 0214-0268 possuem direção NE-SW e as linhas SEG-Y 0214-0298 e 0214-0302 possuem direções SE-NW.



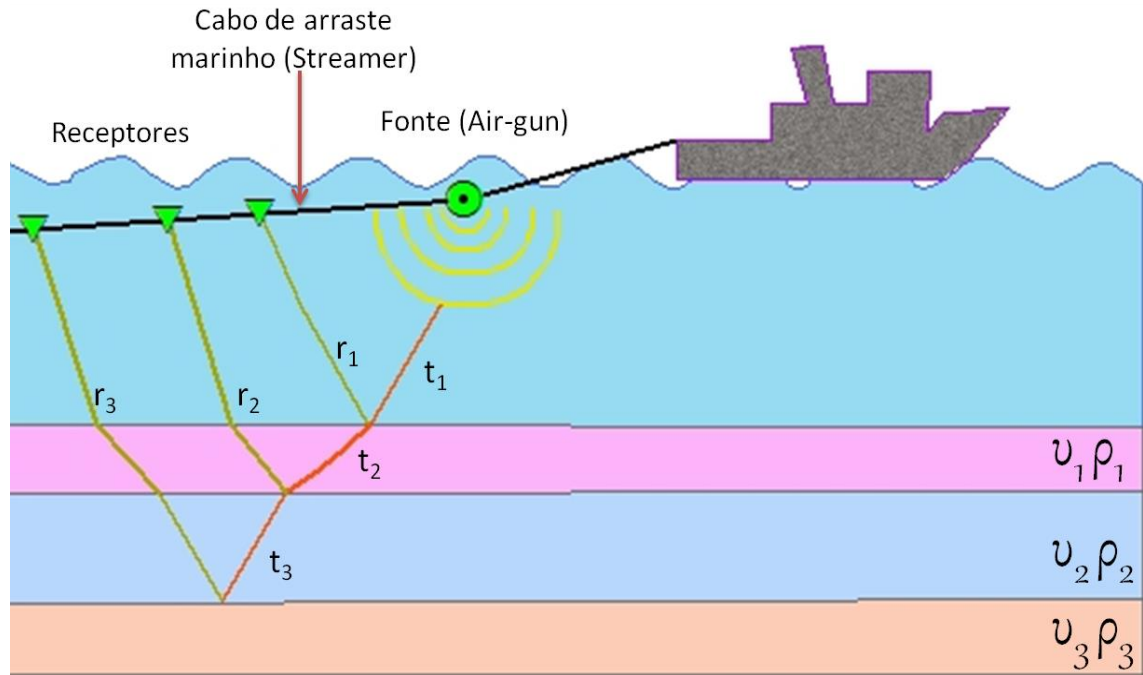
Fonte: ANP – Agência Nacional do Petróleo. (2002).

4.1 Aquisição dos Dados Sísmicos

A aquisição dos dados é feita utilizando-se uma fonte para gerar ondas sísmicas que se propagam abaixo da superfície da Terra. As aquisições podem ser marinhas, terrestres ou de zona de transição, de acordo com a região onde a coleta de dados é feita. Em aquisições marinhas são usados, em geral, canhões de ar (*air-guns*). Quando a onda sísmica alcança uma interface entre duas camadas de rocha com valores de impedâncias acústicas diferentes, parte da onda é refratada e continua viajando para baixo; outra parte é refletida e retorna a superfície. A porção da energia refletida é diretamente proporcional à diferença de impedância acústica entre os dois meios. A parte refletida da onda que retorna à superfície é captada nos receptores (geofones em aquisições terrestres ou hidrofones em marinhas) e gravada nos sismogramas.

O sismograma armazena tanto o tempo de chegada da onda quanto à intensidade medida neste momento. Após várias detonações variando a posição da fonte e dos receptores, todos os dados de reflexão são armazenados. A Figura 12 ilustra o processo de aquisição marinha de arraste marinho de cabos (*Marine Tower Streamer*), que foi o modelo de aquisição realizada nos dados desse trabalho. A geometria de aquisição das quatro linhas utilizadas neste trabalho é apresentada na Tabela 01

Figura 12 – A figura abaixo mostra, de forma, simplificada como é feita a aquisição sísmica marinha. Nesse tipo de aquisição, um navio reboca uma fonte, (de modo geral um canhão de ar - *air-gun*), seguido por um cabo (*streamer*) contendo os hidrofones (receptores - r_1 , r_2 e r_3). O *Air-gun* emite uma onda artificial que viaja em subsuperfície com uma velocidade u_x que atravessa o meio de densidade ρ_x em um tempo t_x . A diferença de velocidade da onda para camadas em subsuperfície, de densidades e tempo de trânsito diferente, é registrada pelos receptores contidos no streamer.



Fonte: do Autor.

Tabela 1: Principais parâmetros usados no levantamento das linhas sísmicas da Bacia do Jequitinhonha.

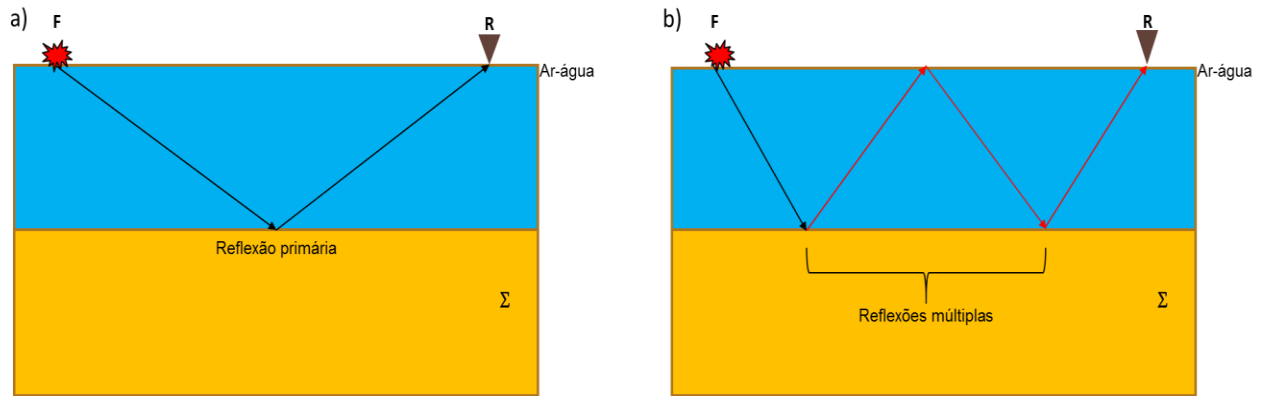
Grupo da Linha	0214-0266	0214-0268	0214-0298	0214-0302
Número de Tiros	1577	2213	2533	1793
Espaçamento entre os tiros	25 m	25 m	25 m	25 m
Número de receptores	120	120	120	120
Espaçamento entre receptores	25 m	25 m	25 m	25 m
Profundidade da fonte	9 m	9 m	9 m	9 m
Profundidade média dos Receptores	9 m	9 m	9 m	9 m
Máximo afastamento	3125 m	3125 m	3125 m	3125 m
Mínimo afastamento	150 m	150 m	150 m	150 m
Intervalo de amostragem	4ms	4ms	4ms	4ms

Fonte: Do autor

Nesse tipo de dado é comum a presença de múltiplas de superfície. As reflexões múltiplas surgem devido à interface ar-água (Figura 13) que geram na seção sísmica um sinal “fantasma”.

Reflexões múltiplas podem ser definidas como eventos sísmicos que sofreram mais de uma reflexão ao alcançar a superfície. A geração de múltiplas ocorre quando há um contraste de impedância entre as interfaces refletoras. quanto maior for esse contraste, mais múltiplas serão geradas.

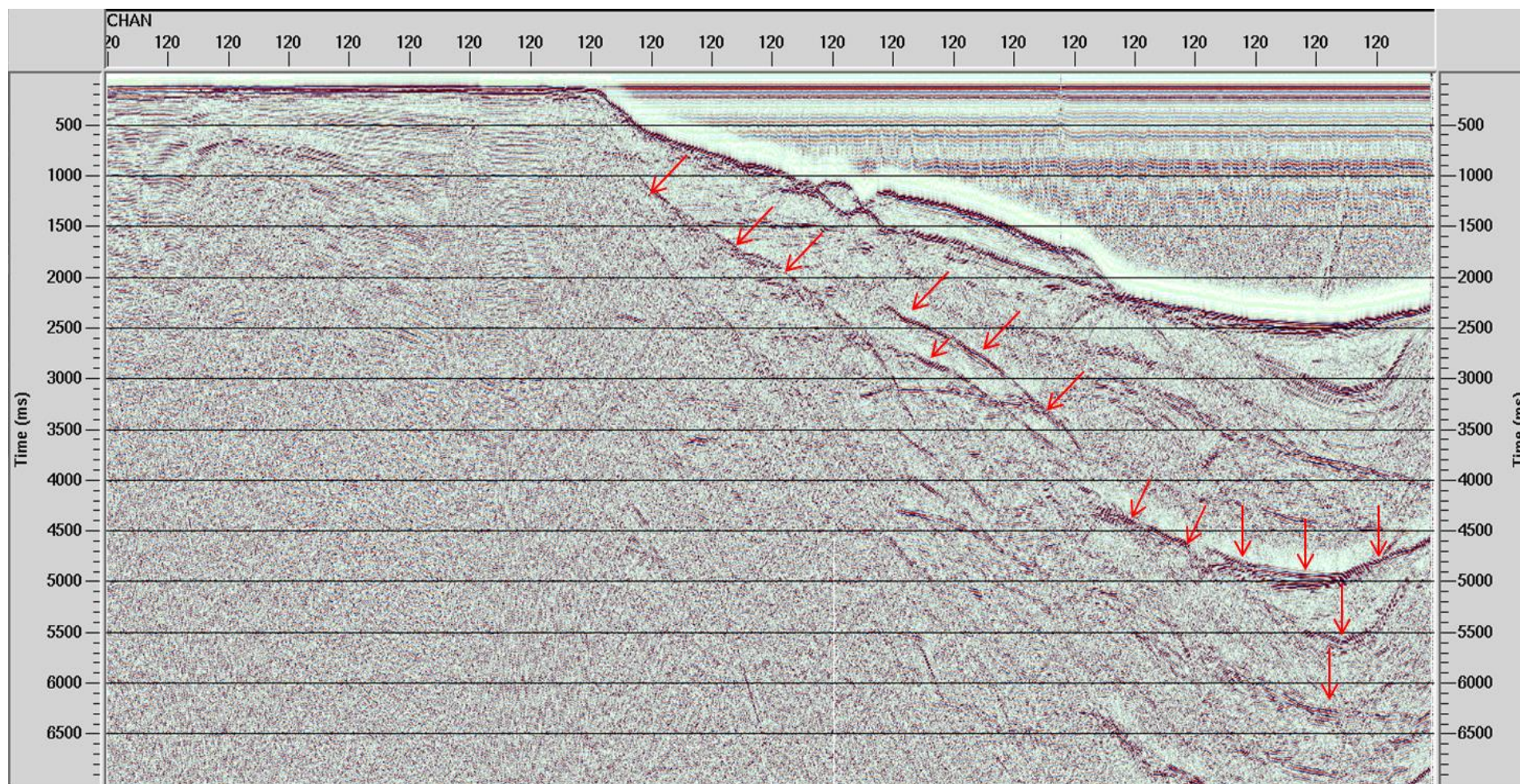
Figura 13 - Geração de múltiplas na interface ar-água em uma aquisição marinha. Em (a), é mostrada uma reflexão primária. A energia emitida pela fonte (F) viaja em subsuperfície, incide na interface refletora (Σ). É espalhada e medida na superfície pelo receptor (R). Em (b), é mostrada uma reflexão múltipla. A energia emitida pela fonte (F) viaja em subsuperfície, incide em Σ , é espalhada e, ao chegar na superfície (interface ar-água), é novamente espalhada e retorna mais uma vez a subsuperfície e sofre novo espalhamento em Σ . Ao voltar para a superfície é registrada no receptor (R).



Fonte: do Autor

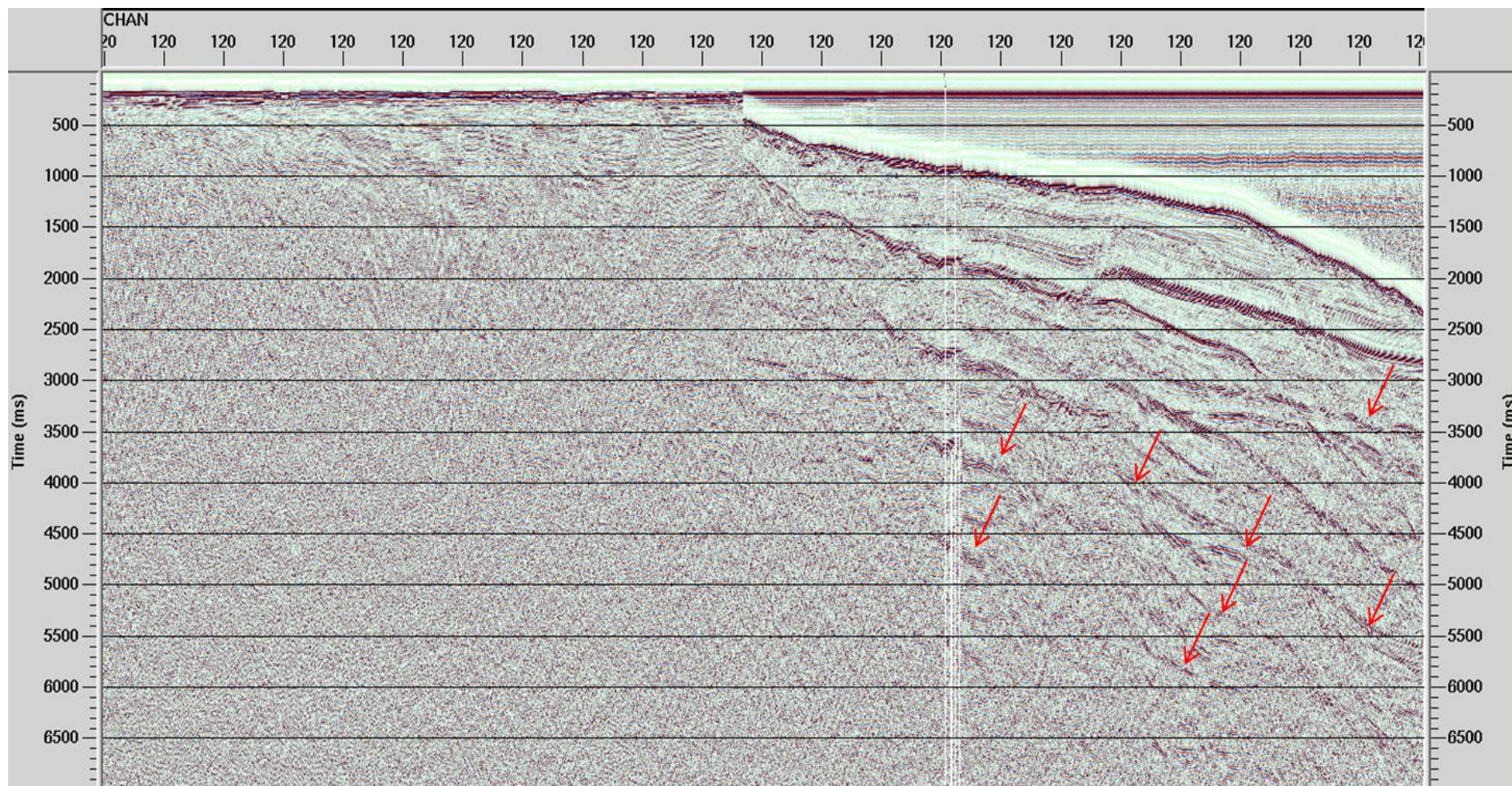
As Figuras 14, 15, 16 e 17 mostram as linhas 0214-0266, 0214-0268, 0214-098 e 0214-0302, respectivamente, organizadas em afastamento comum. Nas Figuras, as múltiplas de superfície são assinaladas com as setas em vermelho. Por sua grande energia, as múltiplas de superfície podem falsear refletores e levar a erros na interpretação sísmica. Como pode ser visto nas figuras 14, 15, 16 e 17, os dados apresentam muitos registros de múltiplas de superfície, o que dificulta o processamento sísmico e a interpretação de seções sísmicas migradas. Portanto, há a necessidade de se aplicar métodos de previsão e atenuação de múltiplas ao processamento sísmico convencional.

Figura 14 - Seção sísmica da linha 0214-0266. O dado ainda em estado bruto é organizado em afastamento mínimo. As múltiplas de superfície do assoalho oceânico estão assinaladas pelas setas em vermelho.



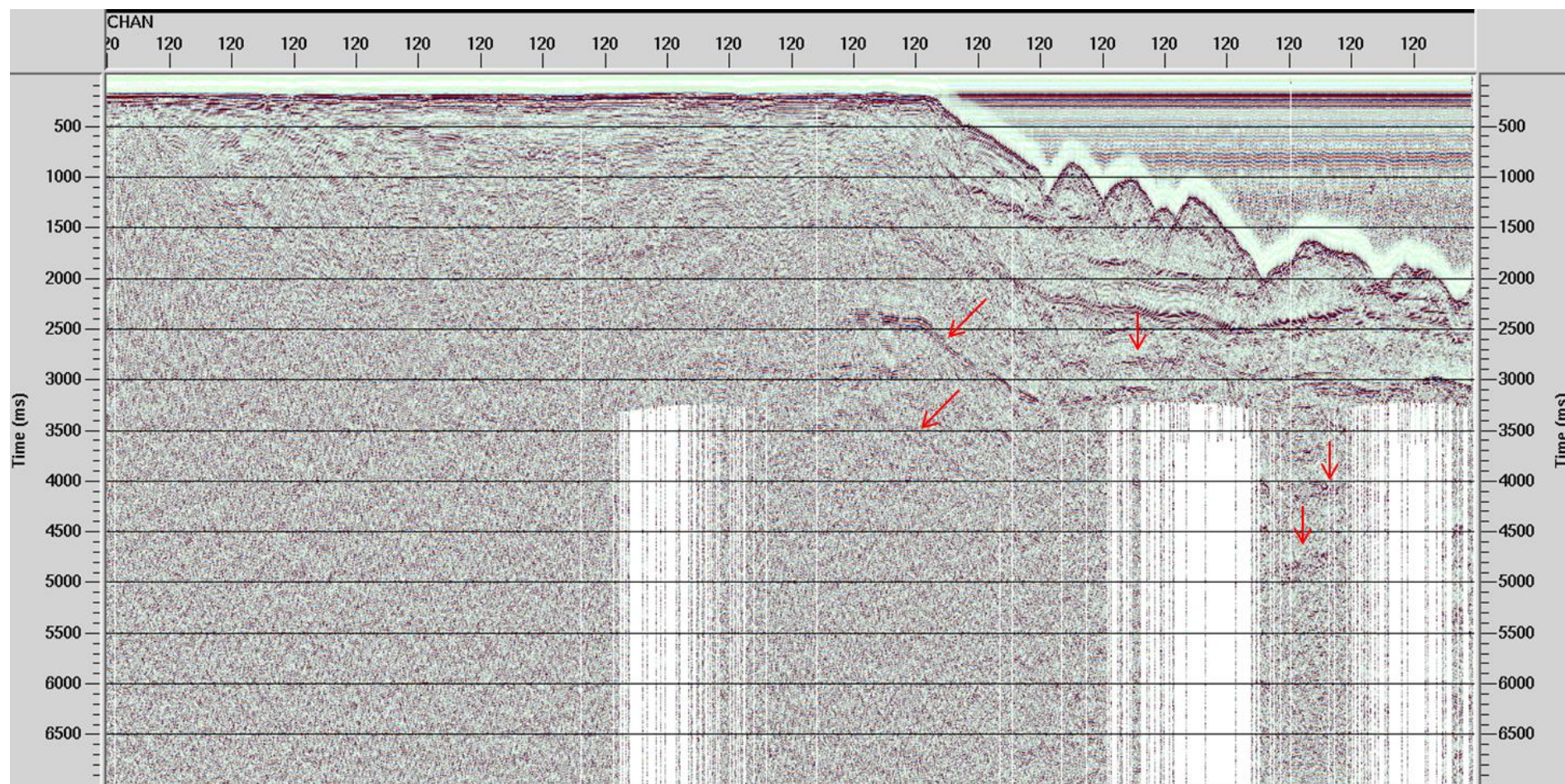
Fonte: do Autor.

Figura 16 – Seção sísmica da linha 0214-0298. As múltiplas de superfície do assoalho oceânico estão assinaladas pelas setas em vermelho.



Fonte: do Autor.

Figura 17 – Seção sísmica da linha 0214-0302. As múltiplas de superfície do assoalho oceânico estão assinaladas pelas setas em vermelho



Fonte: do Autor.

4.2 Processamento Sísmico

O subsolo é geralmente composto por diferentes camadas de sedimentos. Diferentes camadas geológicas são caracterizadas por terem propriedades físicas distintas, dentre elas diferentes impedâncias acústicas, que é a principal característica da sísmica de reflexão. Para a aquisição dos dados sísmicos, são geradas ondas artificiais de duração relativamente pequena, referentes a região que se deseja imagear. Essas perturbações são geradas através da utilização de canhões de ar (*Air-guns*), no caso da aquisição marinha.

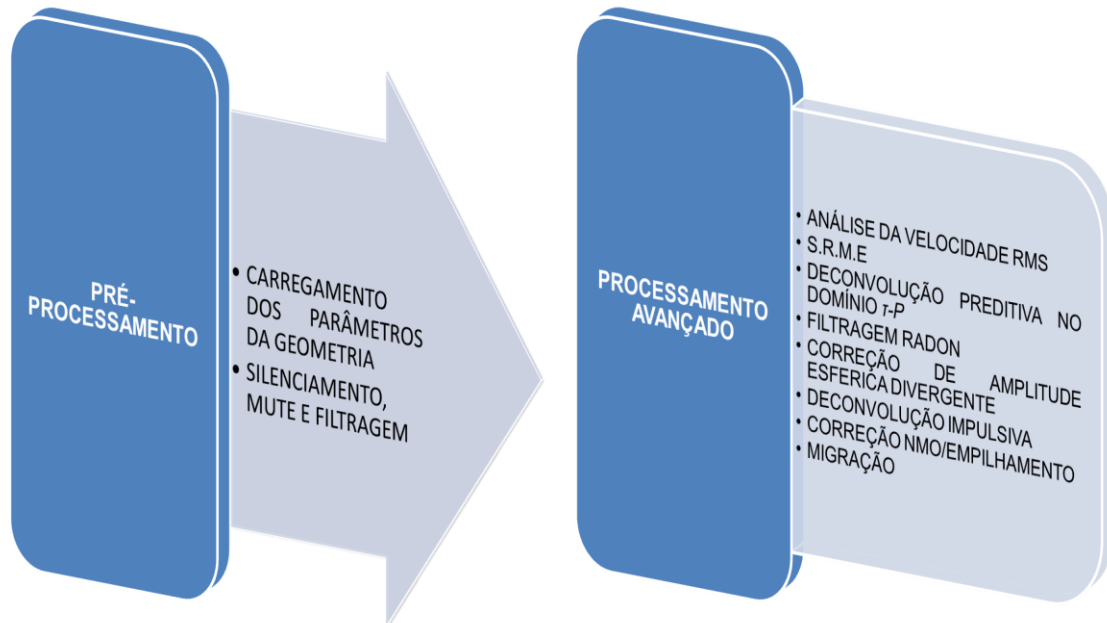
Uma vez gerada, a onda sísmica se propaga em subsuperfície e, ao atingir a interface entre duas rochas de características físicas diferentes, parte da energia incidente da onda é refletida e retorna à superfície, onde pode ser captada pelos receptores. Uma vez captadas pelos receptores, as informações são gravadas nos sismogramas. O sismograma armazena as informações referentes ao o sinal sísmico de interesse quanto os ruídos ambientais e possíveis múltiplas de superfície que possam ter sido geradas quando da fase de aquisição. Depois de devidamente tratadas, as informações contidas nesses sismogramas irão gerar uma imagem (migrada ou empilhada) o mais fiel possível do meio em subsuperfície.

Portanto, o processamento de dados sísmicos tem por objetivo tratar o dado e gerar uma “Figura” de subsuperfície que possibilite a visualização de estruturas e a disposição das camadas de rochas sedimentares em subsuperfície a partir de dados sísmicos registrados inicialmente em superfície. Um dos resultados esperados no processamento sísmico é a criação de uma seção empilhada que dá uma idéia aproximada da disposição real da geologia de subsuperfície da área estudada.

Após gerar a seção empilhada é realizada a etapa da migração dessa seção a fim de corrigir os efeitos ocasionados pelo pulso sísmico, fornecendo uma idéia muito mais precisa da geologia da área..

Não há um modelo padrão para o processamento sísmico. Entretanto, para este trabalho, o processamento das linhas sísmicas foi dividido em dois fluxos de processamento: 1^o - Pré-Processamento e 2^a – cujas etapas são mostradas na Figura 18.

Figura 18 – Etapas do processamento sísmico aplicado às linhas SEG-Y 0214-0266, 0214-0268, 0214-02698 e 0214-0302, da Bacia do Jequitinhonha. A figura mostra cada técnica utilizada em para cada etapa do processamento.



Fonte: do Autor.

O fluxo de Pré-Processamento abrange a preparação dos dados e a utilização de técnicas convencionais de tratamento do sinal sísmico. Esta fase compõe-se das etapas de carregamento da geometria das linhas, conforme os parâmetros registrados para o relatório de campo de cada linha, quando de sua aquisição e a posterior edição dos traços com ruídos incoerentes provenientes da lamina d'água, de fontes/receptores defeituosos e a aplicação de filtros que retirem todo e qualquer sinal que esteja fora da banda de frequência do sinal de interesse.

O fluxo de Processamento reúne técnicas mais sofisticadas, como a primeira estimativa da velocidade RMS do meio a partir dos dados pré-processados, as técnicas de atenuação de múltiplas (SRME, Deconvolução Preditiva no Domínio τ - p e a Filtragem Radon), uma segunda estimativa da velocidade RMS, agora a partir dos dados com as múltiplas atenuadas, a correção NMO, o empilhamento CMP e a migração dos dados. Ambos os fluxos serão descritos mais adiante.

4.3 Pré-Processamento

4.3.1 Geometria

O carregamento da geometria do levantamento é o primeiro passo do processamento. Durante o carregamento da geometria são definidas a posição espacial das fontes e dos receptores utilizados na aquisição, baseando-se sempre nos dados do relatório de campo. Essas informações são armazenadas no cabeçalho do dado e são usadas para organizar os dados sísmicos em varias configurações.

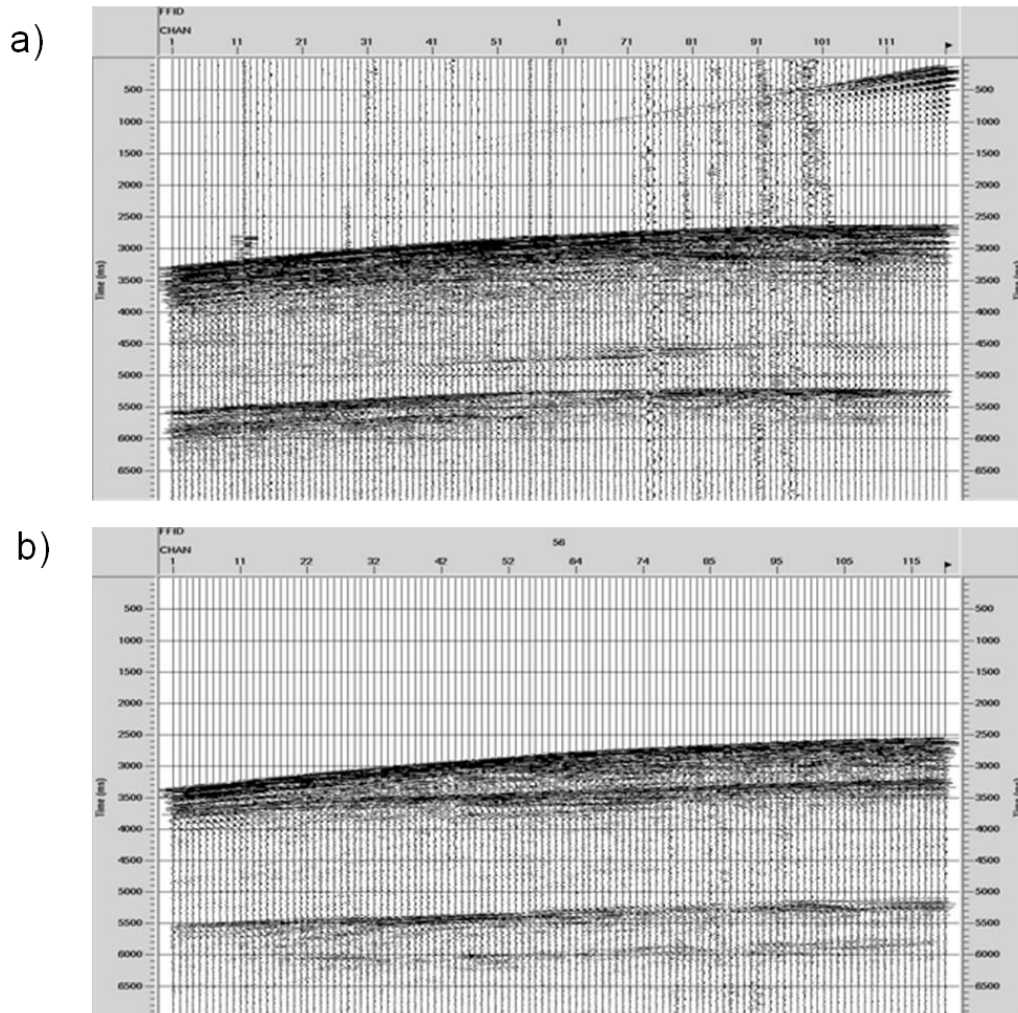
4.3.2 Edição e Filtragem

Etapa que se faz necessária uma vez que os dados podem vir do campo com o registro de ruídos incoerentes e de outros eventos sísmicos além das reflexões (chamadas de ruídos coerentes). Esses ruídos que ficam registrados nos dados podem comprometer a qualidade do resultado, o que torna obrigatório uma prévia visualização dos traços sísmicos a fim de saber quais devem ser parcial ou inteiramente editados e/ou eliminados.

Para a eliminação dos traços com baixa razão sinal/ruído presentes nas linhas processadas, utilizou-se inicialmente o método de edição automática, na qual se define os parâmetros para a eliminação dos traços cujas fontes/receptores apresentaram algum defeito ao longo da aquisição de cada linha. Em seguida, foi realizada a edição interativa na qual se verifica cada família de tiro, identifica-se e eliminam-se os traços indesejados que possam ter permanecido no dado mesmo após a edição automática, com a utilização da função *Kill Trace*, quanto necessário.

Nesta etapa também é feita a atenuação dos ruídos do topo do sinal que, neste caso, elimina o efeito da lâmina d'água além da eliminação das ondas diretas (ondas que, ao serem emitidas pela fonte, viajam próximas à superfície e chegam aos receptores sem sofrer nenhum evento de reflexão). A figura 19 mostra os traços da linha 0214-0268 como um exemplo de traço sísmico antes e depois da edição.

Figura 19 – Aplicação de métodos de edição ao traço sísmico. Na figura “A”, sem a aplicação de métodos de edição, são visíveis os canais que apresentam ruídos, bem como os ruídos provenientes da lâmina d’água. Na figura “B”, já com a aplicação dos métodos de edição, agora grande parte do ruído foi retirado do dado, aumentando a razão sinal/ruído. Ao fim da edição dos traços, o que sobra é constituída, predominantemente, pelo sinal sísmico de interesse.

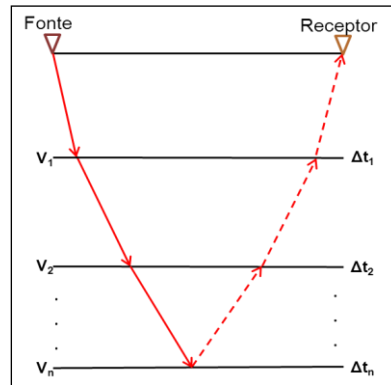


Fonte: do Autor.

Ainda na edição é aplicada a filtragem do dado. Essa filtragem é feita em um domínio diferente do original. Objetivo da aplicação de filtros nos dados coletados no levantamento é o de atenuar os ruídos e ressaltar os eventos de reflexão. O dado sísmico possui uma banda de frequência de 10 a 70 Hz. Aplicam-se, então, filtros que eliminam o sinal fora dessa banda de frequência. Após a edição, onde os dados estão organizados em tiro comum (YILMAZ, 1997), os dados são organizados em famílias CMP. A próxima etapa consiste na estimativa da velocidade RMS. A

velocidade RMS é uma média das velocidades do meio em subsuperfície, formado por n camadas plano-horizontais (Figura 20).

Figura 20 – Modelo de um meio em subsuperfície formado por n camadas horizontais. O sinal emitido por uma fonte atravessa as camadas até alcançar uma superfície refletora e depois retorna a superfície, onde é registrada por um receptor.



Fonte: do Autor.

A velocidade RMS (V_{rms}), é dada por:

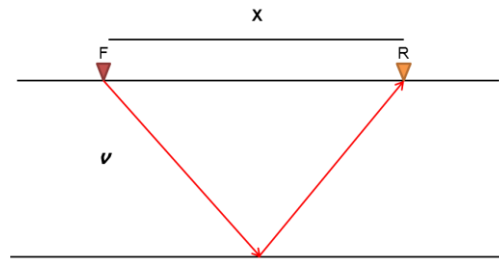
$$V_{rms}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N v_i^2 \cdot \Delta t_i}{\sum_{i=1}^N \Delta t_i} \quad (1)$$

em que: v_i é a velocidade de propagação da onda na i -ésima camada e Δt_i é o tempo de transito da onda na i -ésima camada. A velocidade RMS é estimada a partir dos dados organizados em famílias CMP. Na família CMP, os dados de reflexão sísmica aparecem na forma hiperbólica (Figura 21, setas vermelhas). Essa forma hiperbólica é dada pela equação (YLMAZ, 1997):

$$t_2 = t_0^2 + \frac{x^2}{v^2} \quad (2)$$

em que t é o tempo de transito que a onda leva desde a fonte até o receptor, t_0 é o tempo de transito para o afastamento nulo, x é o afastamento entre fonte e receptor e v é a velocidade do meio.

Figura 21 – Representação esquemática da perturbação que é gerada em F , que é registrada em R . Essa perturbação viaja pelo meio em subsuperfície com uma velocidade v .



Fonte: do Autor.

4.4 Processamento Avançado

Logo após que a fase de Pré-Processamento foi concluída, a fase de Processamento Avançado foi iniciada. Aqui, os traços sísmicos que foram pré-processados encontram-se organizados em sua configuração original de aquisição, em famílias de fonte comum.

No processamento avançado são aplicadas metodologias que visam atenuar as múltiplas de superfície livre, realçar o sinal sísmico de interesse e criar uma imagem (empilhada ou migrada) que seja o mais fiel possível ao meio em subsuperfície. De forma simples, pode-se resumir a fase de Processamento Avançado da seguinte maneira:

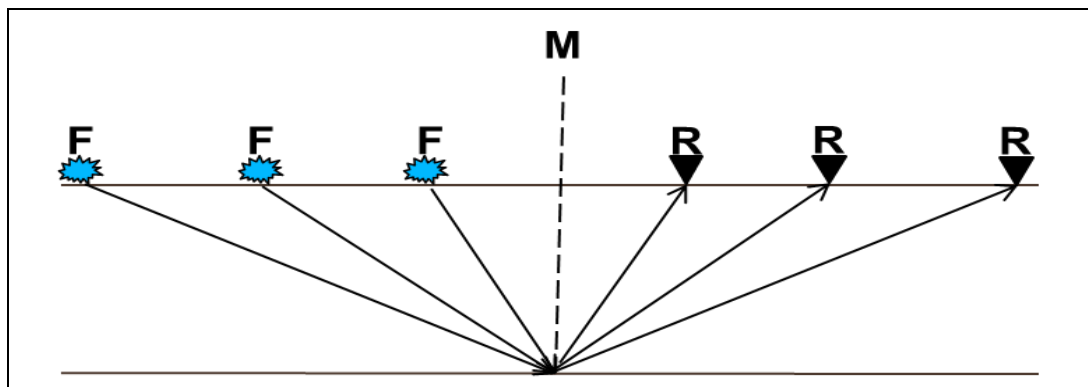
Inicialmente, foram feitas duas análises de velocidade nos dados sísmicos: a primeira baseada nos dados pré-processados (que serviu de base para a atenuação de múltiplas de superfície) e uma segunda análise, agora com as informações do dado sísmico livre da influencia das múltiplas, tendo por base os resultados da aplicação do *Filtro Radon*. Os resultados dessa nova análise da velocidade foram repassados à etapa seguinte, denominada de correção NMO. Depois de feita a correção NMO, foi feito o empilhamento dos dados para gerar a seção de afastamento nulo. As metodologias utilizadas nessa fase serão explicadas detalhadamente nas páginas adiante.

4.4.1 Análise de Velocidade

Esta é uma etapa essencial e crítica, pois a escolha de velocidades incorretas pode comprometer seriamente o sucesso de etapas posteriores, como o empilhamento e a migração. Neste trabalho, a análise de velocidade é aplicada

antes e depois das etapas de remoção de múltiplas, a fim de se obter uma melhor informação do meio em subsuperfície. Para a análise da velocidade RMS, os dados sísmicos devem ser reorganizados para o arranjo em CMP (Ponto Médio Comum). Nesse arranjo, as posições das fontes e dos receptores são transformadas a fim de se estabelecer um ponto em subsuperfície que tenha uma distancia média comum às diversas fontes e aos receptores (Figura 22).

Figura 22 - Arranjo CMP. A figura mostra um arranjo de ponto médio comum não qual um ponto em subsuperfície é imageado por diversas fontes, que cujos sinais são captados por diversos receptores, gerando informações mais detalhadas desse ponto em subsuperfície, facilitando, dessa forma, o processamento.



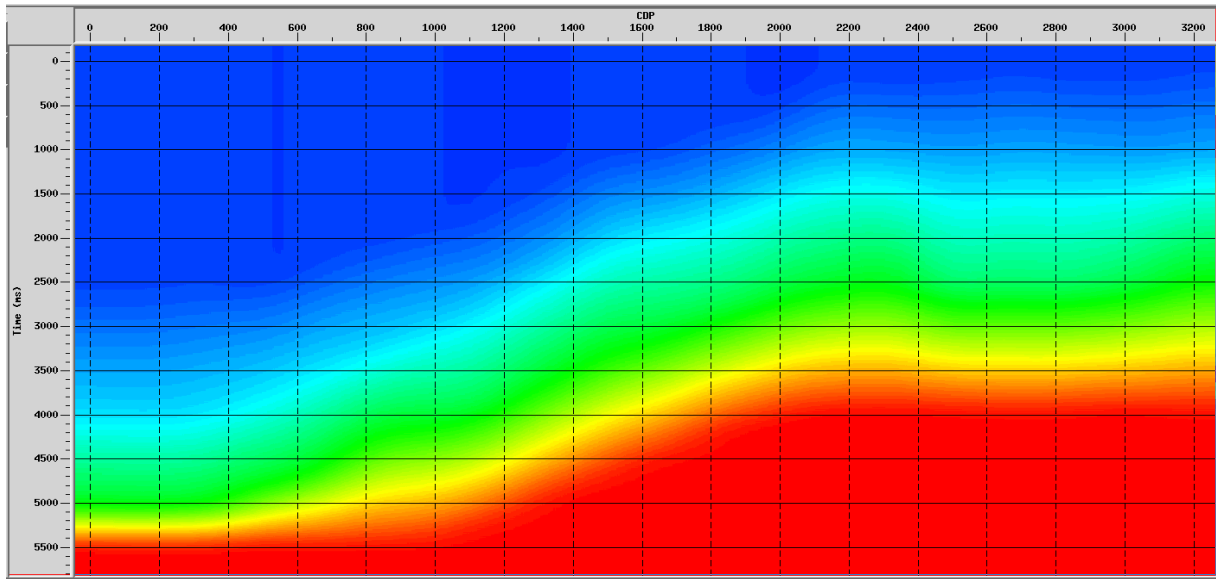
Fonte: do Autor.

Após a organização dos traços em CMP, os traços ou os grupos de traços em CMP são usados para gerar pares *tempo/velocidade*. Devido ao afastamento entre receptores, a velocidade da onda em subsuperfície desenvolve uma curva hiperbólica ao ser registrada pelos receptores em superfície. Os pares de *tempo/velocidade* representam as medidas de coerência do sinal sísmico ao longo dessa curva hiperbólica, fornecendo informações sobre a velocidade, o afastamento entre superfícies e o tempo de transito no meio em subsuperfície. Esses pares *tempo/velocidade* quando conhecidos são, então, interpolados ao longo de todo o modelo para se obter uma função de velocidade para cada traço CMP, criando, desta forma, o perfil de velocidades que deve representar o meio em subsuperfície.

As figuras 23 e 24 mostram as análises de velocidade executadas para a linha 0214-0268 antes e depois da atenuação das múltiplas. As velocidades RMS aplicadas à linha foram selecionadas visualmente nos painéis CMP, com base nos

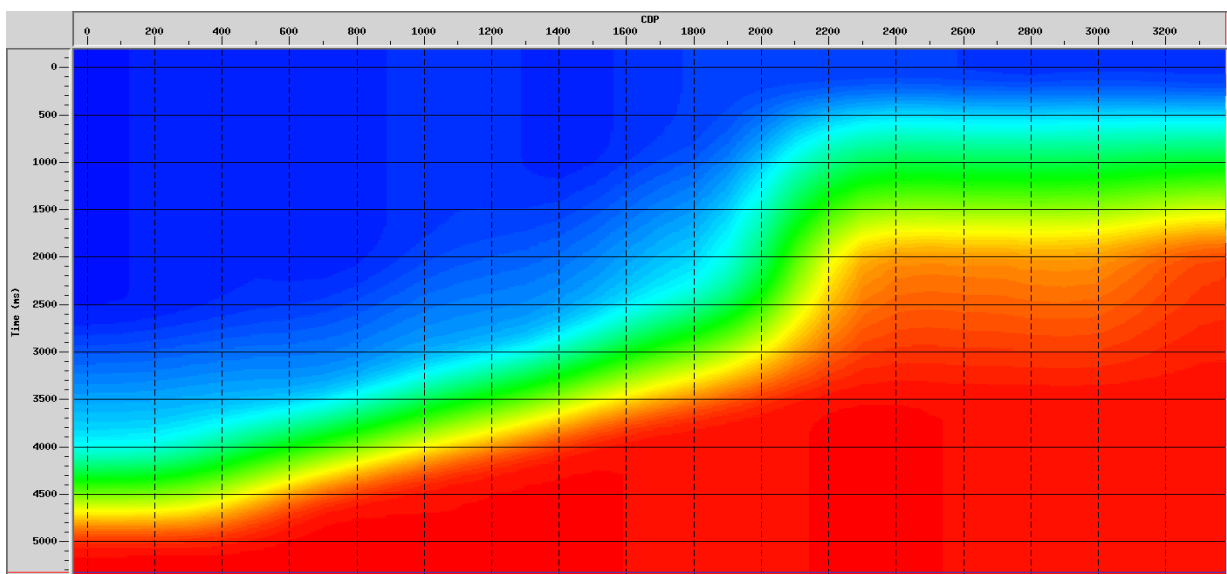
valores de coerência e no efeito da correção de NMO aos traços. Por conta disso, a análise de velocidade foi aqui realizada utilizando, aproximadamente, 60 famílias CMP da linha 0214-0268.

Figura 23 – Modelo de velocidade RMS resultante da velocidade estimada para as ondas sísmicas em subsuperfície antes da aplicação dos métodos para remoção de múltiplas. Linha 0214-0268, Bacia do Jequitinhonha.



Fonte: do Autor.

Figura 24 – Modelo de velocidade RMS resultante da velocidade estimada para as ondas sísmicas em subsuperfície após a aplicação dos métodos para remoção de múltiplas. Linha 0214-0268, Bacia do Jequitinhonha.



Fonte: do Autor.

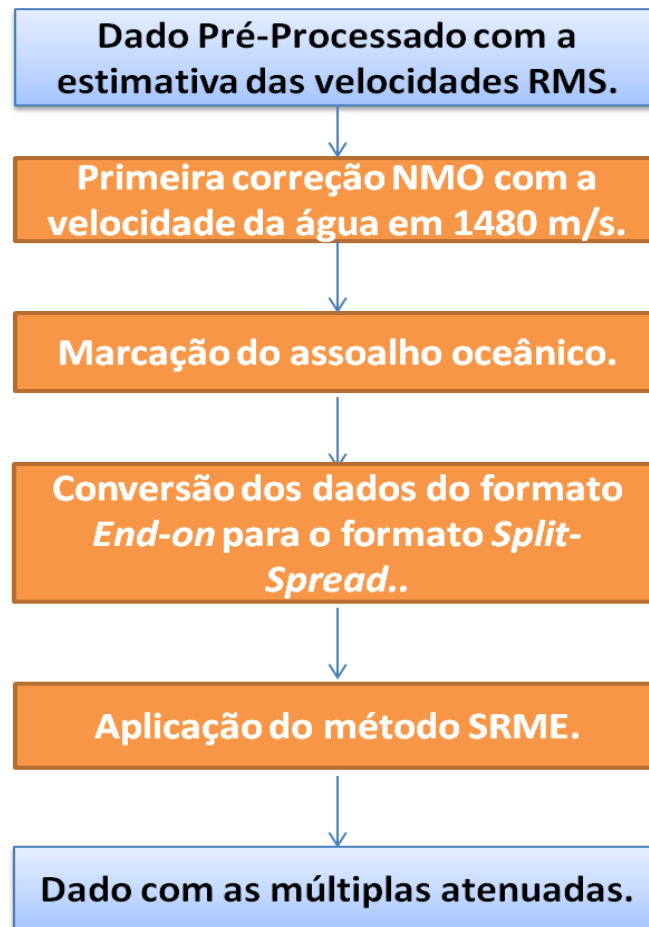
4.4.2 SRME - Eliminação de Múltiplas Relacionadas à Superfície Livre

O SRME foi introduzido por Anstey e Newman (1966) como uma metodologia utilizada para a atenuação de múltiplas de superfície que ocorrem no sinal sísmico. Podemos definir as múltiplas como um evento sísmico que se repete ao longo de uma determinada trajetória, geradas pelas próprias reflexões primárias. Assim, as múltiplas podem ser modeladas dos dados. Essas múltiplas podem ser subtraídas do dado inicial que tem como resultado a atenuação da múltipla. De acordo com o proposto por Verschuur e Kabir (1992), o método do SRME permite que haja uma previsão das múltiplas através de um processo de inversão sísmica, sem a necessidade de informações prévias sobre a estrutura de subsuperfície.

O desenvolvimento do método é baseado no princípio de que nas autoconvocações do traço sísmico, seus eventos primários podem ser transformados em múltiplas de primeira ordem. De modo simples, pode-se dizer que o dado primário registrado nos receptores sofre uma série de autoconvocações a partir de famílias de fonte comum, que geraria um modelo de empilhamento de múltiplas que podem ser, então, subtraídas do dado inicial. Para este trabalho, o SRME foi aplicado aos dados sísmicos segundo o fluxograma da figura 24.

Para a aplicação do método do SRME é preciso que sejam seguidos alguns passos prévios (Figura 25). Primeiramente, aos dados sísmicos já devidamente pré-processados, é aplicado uma primeira correção NMO, com velocidade da água de 1480m/s. Após essa correção NMO, deve-se marcar o assoalho oceânico, de forma o mais paralela possível, com base na tabela de velocidades RMS estimadas para as reflexões primárias. Converte-se o dado em formato *End-on* para o formato *Split-Spread*. A conversão do formato *End-on* para *Split-Spread* antes da aplicação do método do SRME propriamente dita, se faz necessária, uma vez que essa metodologia necessita que haja informação dos dados sísmicos dos dois lados da fonte para afastamentos pequenos (nesse caso, 25m). Tendo satisfeitas todas essas condições, aplica-se agora o método SRME, que utilizará as informações contidas na tabela gerada pela marcação do fundo oceânico, pela função *Top-Mute* e pelo dado em formato *Split-Spread*. O dado resultante desta interação estará, agora, com suas múltiplas atenuadas.

Figura 25 - Fluxograma que mostra as etapas para o preparo e aplicação do método SRME. Ao fim de sua aplicação, é gerado um dado livre de múltiplas.



Fonte: do Autor.

4.4.3 Deconvolução Preditiva no Domínio τ - p

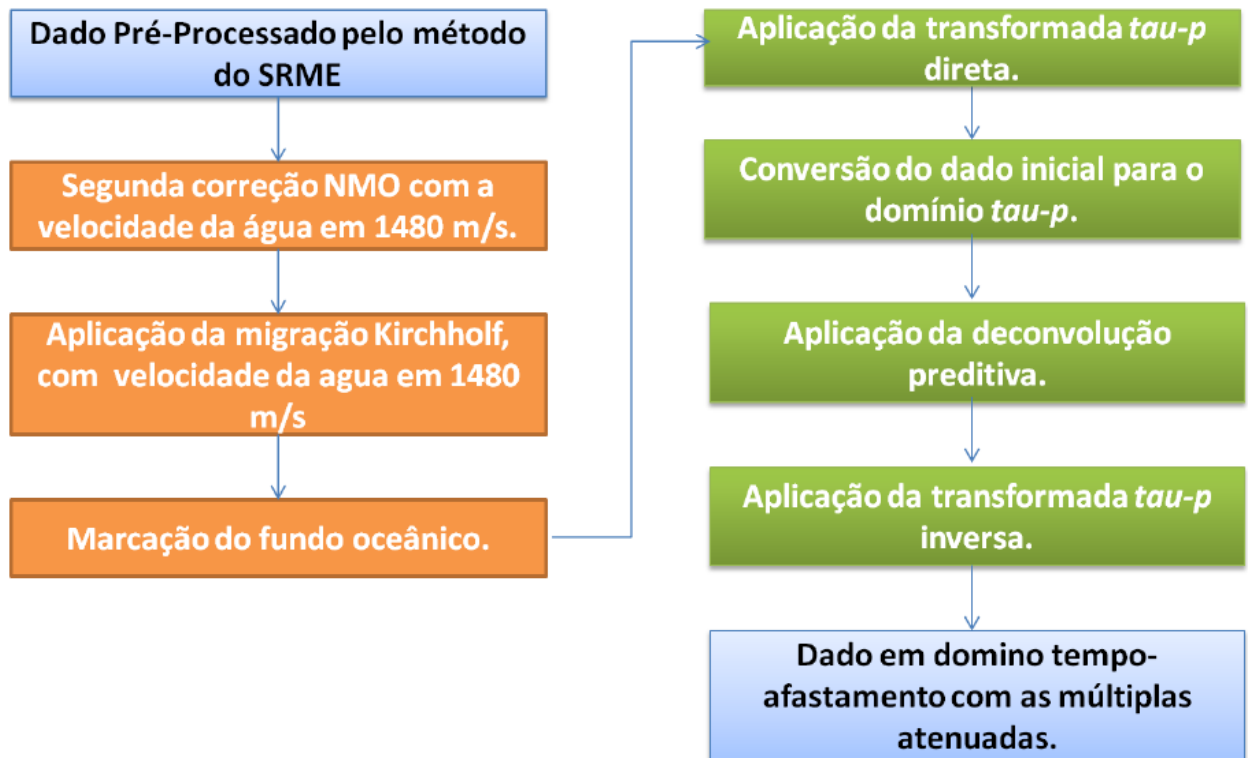
Esse método usa a periodicidade das múltiplas para que as possam modelar e posteriormente, suprimir. Isso só é válido para casos de *zero-offset* no domínio do tempo-afastamento e quando as interfaces que geram as múltiplas são horizontais e não têm variações laterais. Em situações diferentes de *zero-offset* ou em uma superfície não paralela, a deconvolução não é possível (YILMAZ, 2001). No domínio τ - p , as múltiplas ocorrem de forma periódica, o que facilita sua identificação na seção sísmica e favorece a modelagem no domínio τ - p .

Se, por exemplo, a Terra for considerada como um sistema suficientemente unidimensional, a restrição ao *zero offset* pode ser superada através da transformação dos dados no domínio do tempo para o domínio τ - p . Uma vez no

domínio τ - p , as múltiplas tornam-se cada vez mais periódicas para cada valor de p , podendo ser então suprimidas. Em uma região de águas rasas, como em uma plataforma de talude, onde o fundo oceânico é suficientemente plano, a atenuação de múltiplas pela deconvolução no domínio τ - p é bastante eficiente,

Para a aplicação do método de deconvolução preditiva no domínio τ - p é preciso que sejam seguidos alguns passos prévios (Figura 26). Primeiramente, Converte-se o dado gerado pela metodologia SRME, que está em formato *Split-Spread* de volta para o formato *End-on*. Aos dados sísmicos já devidamente tratados pelo método SRME é aplicada uma migração Kirchhoff no domínio do tempo, com uma segunda marcação do assoalho oceânico, de forma a mais paralela possível com base na tabela de velocidades RMS estimadas para as reflexões primárias. Feito isso, deve-se aplicar a transformada τ - p direta, (com o melhor operador de predição possível; para este trabalho esse operador tem valor 1000) aplicando-se, na sequência, a deconvolução preditiva. Aos dados gerados, aplica-se a transformada τ - p inversa. A Figura 27 nos mostra um exemplo de aplicação do método de deconvolução no domínio τ - p ao dado sísmico, antes e depois de sua aplicação.

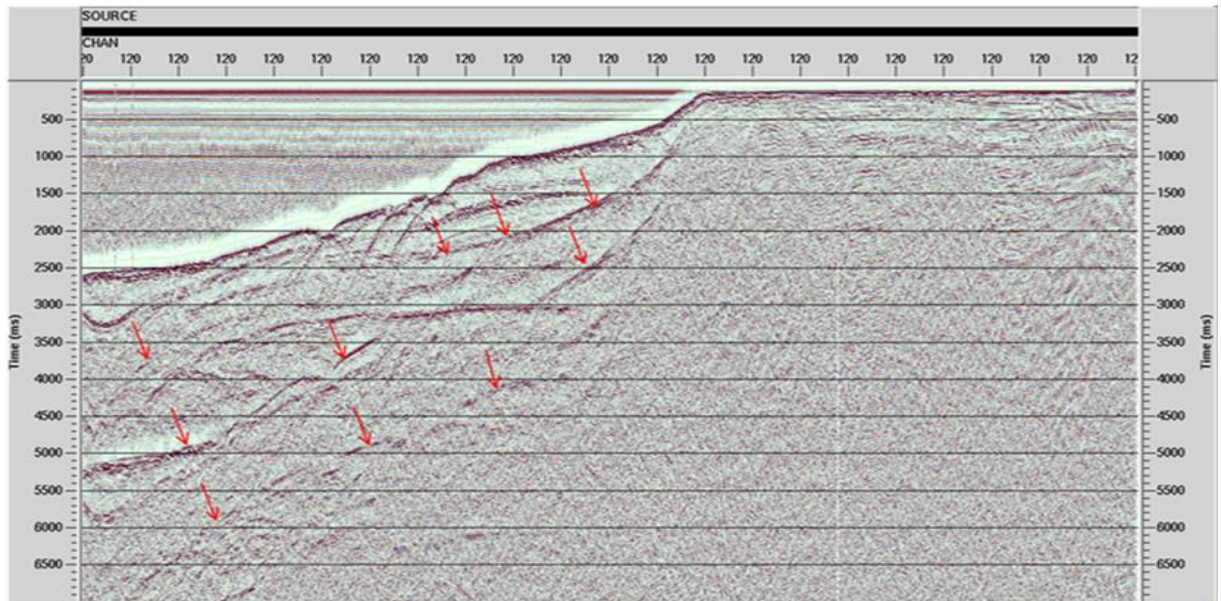
Figura 26 - Fluxograma que mostra as etapas para a aplicação do método de deconvolução preditiva τ - p . para a aplicação dessa metodologia, o dado de entrada é aquele gerado ao final do fluxo de SRME. Ao fim de sua aplicação, é gerado um dado livre de múltiplas..



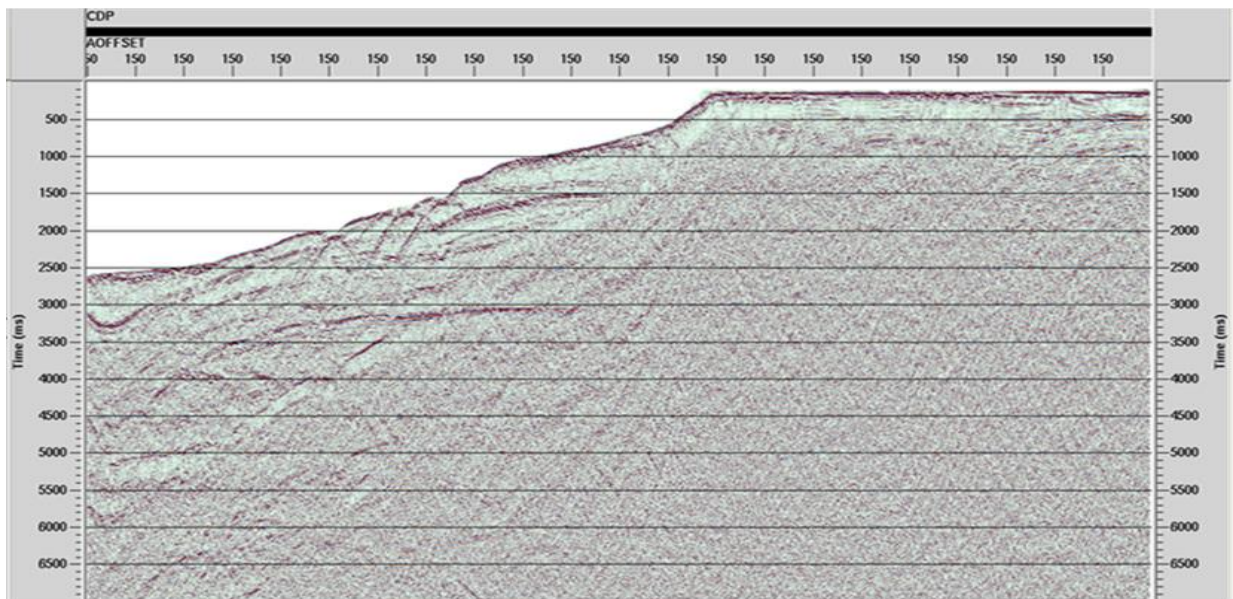
Fonte: do Autor.

Figura 27 - Exemplo de atenuação de múltiplas da linha 0214-0268 da Bacia do Jequitinhonha através da deconvolução no domínio τ - p . Em “A”, pode-se perceber a presença de múltiplas (setas em vermelho), que ocorrem ao longo de toda a porção marinha da seção. Em “B”, após a aplicação da deconvolução preditiva no domínio τ - p , percebe-se a significativa atenuação das múltiplas de superfície.

a)



b)



Fonte: do Autor.

4.4.4 Filtro Radon

A técnica usa a transformada Radon, que recebeu esse nome em homenagem ao matemático **JOHANN RADON** (1887-1956) (DUARTE, 2006). Com a transformada de Radon, o dado sísmico é mapeado do domínio tempo-espço para o domínio de Radon, onde as múltiplas são filtradas. Três formas de transformadas Radon são aplicadas no processamento sísmico:

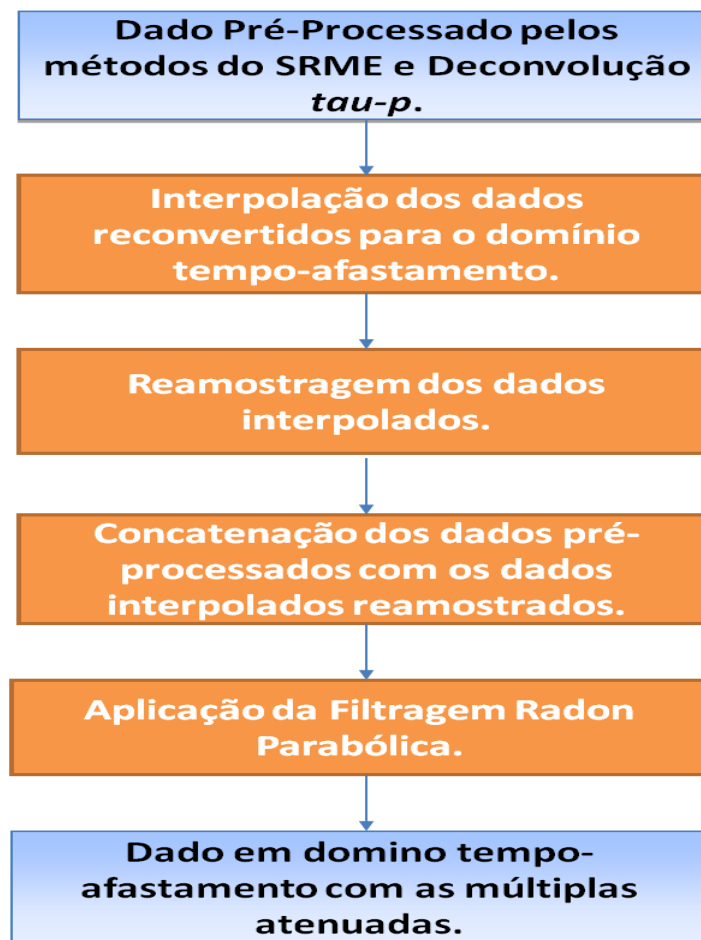
- Transformada Radon Linear (ou *Slant-Stack* ou *Tau-p*) no qual o dado sísmico é somado ao longo de retas;
- Transformada Radon Hiperbólica no qual o dado sísmico é somado ao longo de hipérboles;
- Transformada Radon Parabólica no qual o dado sísmico passa por uma correção NMO e seus dados residuais são somados ao longo do afastamento.

Essas variações da Transformada Radon mapeiam eventos com padrões característicos, concentrando-os no domínio Radon, para que seja possível eliminá-los. O procedimento é semelhante ao realizado no domínio $F-K$ (o dado é transformado para um domínio no qual os eventos indesejáveis são removidos). Contudo, a organização das informações no domínio Radon é diferente e a transformação inversa (para o domínio original) não é uma tarefa simples (STOFFA, 1981).

Segundo Yilmaz (2001), limitações no lanço do levantamento e a discretização do dado, fazem com que no mapeamento do domínio de Radon para o domínio tempo-afastamento o dado perca resolução. É então procurada uma estimativa da transformada de Radon, em que as perdas na resolução do dado sejam mínimas. Esta estimativa da inversa é obtida através de inversão no sentido dos mínimos quadrados. A aplicação do filtro Radon depende muito do quanto os eventos indesejáveis podem ser separados do dado inicial quando em domínio Radon, além da transformação inversa desses eventos para o domínio original.

Para a aplicação da filtragem Radon é preciso que sejam seguidos alguns passos prévios (Figura 28). Primeiramente aplica-se uma interpolação aos dados tratados pelos métodos de SRME e a deconvolução preditiva no domínio τ - p , já reconvertidos para o domínio tempo-afastamento. Realiza-se a reamostragem dos dados interpolados. Concatenam-se os dados pré-processados com os dados interpolados já reamostrados. Aplica-se a filtragem Radon parabólica utilizando a tabela de estimativa das velocidades RMS das reflexões primárias. Aplica-se o filtro Radon. O dado gerado estará livre de múltiplas.

Figura 28 - Fluxograma que mostra as etapas para o preparo e aplicação do método de filtragem Radon. Nessa metodologia, o dado de entrada é aquele gerado ao final do fluxo de deconvolução preditiva τ - p . Ao fim de sua aplicação, é gerado um dado livre de múltiplas.



Fonte: do Autor.

4.4.5 Correção NMO

A Correção NMO (*normal move out*) é o deslocamento aplicado aos registros de reflexão sísmica de modo a anular o efeito da distância fonte-receptor (YLMAZ, 1987). Em outras palavras, é a correção do tempo adicional que uma reflexão sísmica registrada com o receptor afastado (x) da fonte apresenta, quando comparado com o tempo que esta mesma reflexão teria se a fonte e o receptor estivessem no mesmo ponto ($x=0$). De acordo com a definição proposta por Castle (1994), a correção NMO tem, na verdade, três objetivos básicos: alinhar os eventos refletidos observados nos sismogramas CMP; proporcionar um sinal empilhado que seja uma boa aproximação do tempo de afastamento zero e permitir uma estimativa da velocidade de subsuperfície.

A correção NMO baseia-se na suposição de que a superfície Terra é formada por camadas planas, homogêneas e sobrepostas entre si. Quando essas camadas apresentam-se inclinadas, a aplicação da correção NMO se torna ineficiente, uma vez que não é mais possível conseguir que o sinal seja considerado com incidente de um mesmo ponto refletor da interface em subsuperfície. Quando as camadas apresentam-se inclinadas, os eventos registrados nos traços sísmicos não têm incidência normal, o que pode fazer a seção empilhada perder resolução. Segundo Yilmaz (1987), a correção NMO produz melhores resultados em casos onde o afastamento fonte-receptor é pequeno e os refletores são plano-horizontais ou com baixo valor de mergulho. Para reflexões com grandes afastamentos e em regiões rasas, a correção NMO produz uma distorção no sinal sísmico.

Após a aplicação da correção NMO, os traços são somados, o que gera a um traço único que apresenta uma razão sinal/ruído ampliada.

4.4.6 Deconvolução

A deconvolução impulsiva é aplicada aos dados com o objetivo de aumentar a resolução temporal dos traços sísmicos, por meio da compressão do pulso-fonte primário, o que permite ao processador identificar topo e base de unidades estratigráficas. É um método de extrema importância para a remoção de parte das reverberações. Geralmente a deconvolução é comumente realizada após a correção

de amplitude esférica da Terra e antes do empilhamento e no domínio do tempo (YILMAZ, 1987). A deconvolução impulsiva busca “resgatar” a resposta impulsiva da Terra através de filtros que, quando convolvidos com o pulso sísmico gere um impulso similar ao impulso da Terra.

A Terra é formada por camadas rochosas com litologias e propriedades físicas diferentes. Em sísmica, as diferentes litologias que compõem o meio em subsuperfície são definidas e reconhecidas por suas densidades e suas velocidades de propagação das ondas sísmicas. A diferença de densidade e de velocidade de propagação das ondas sísmicas em subsuperfície resulta em um contraste de impedância. O contraste de impedância entre duas camadas adjacentes causa as reflexões que são gravadas na superfície. O sismograma registrado pode ser modelado como uma convolução da resposta impulsiva da Terra com o pulso sísmico. Este pulso possui muitas componentes como a assinatura da fonte, o filtro de registro reflexões de superfície e a resposta ao arraste dos receptores. A resposta impulsiva da Terra é aquela que seria gravada se o pulso se comportasse como um impulso. A resposta impulsiva compreende reflexões primárias e todas as possíveis múltiplas do meio.

Idealmente, a deconvolução deve suprimir o pulso e eliminar múltiplas, preservando apenas a reflexão proveniente da Terra gravada no traço sísmico. A compressão do pulso pode ser feita usando-se um filtro inverso que agirá como um operador de deconvolução. Quando o pulso é deconvolvido pelo filtro inverso, ele se transforma em um impulso e quando aplicado em um sismograma, o filtro inverso irá gerar a resposta impulsiva da Terra (YILMAZ, 1987). Para a elaboração do modelo convolucional do traço sísmico são assumidas as seguintes hipóteses:

1. A Terra é composta de camadas horizontais de velocidades constantes;
2. A fonte gera uma onda plana compressional que atinge a interface que separam as camadas com incidência normal. Sob tal circunstância, nenhuma onda cisalhante é gerada.

Apesar de a Terra não ser formada exclusivamente por camadas horizontais de velocidades constantes e de que o afastamento nulo (essencial para apoiar a

hipótese 2) não existe na realidade, essas duas hipóteses servem de base para o modelo convolucional que é, matematicamente, definido por:

$$x(t) = w(t) * e(t) + n(t) \quad (3)$$

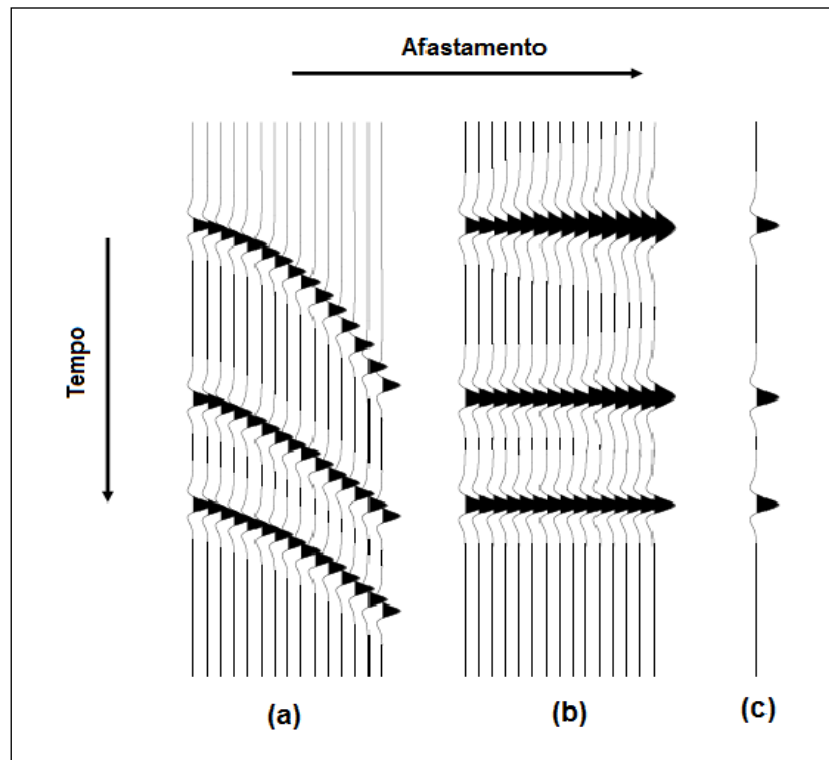
onde $x(t)$ é o sismograma com os dados sísmicos registrados; $w(t)$ é a *wavelet* sísmica básica; $e(t)$ é a resposta impulsiva da Terra; $n(t)$ é o ruído ambiental aleatório e $*$ representa a operação de deconvolução.

A deconvolução busca desfazer os efeitos da convolução e determinar, assim, a resposta impulsiva da Terra. Neste trabalho aplicou-se a deconvolução impulsiva, que tem por objetivo o aumento da resolução temporal do traço sísmico, e a deconvolução preditiva, que tem por objetivo a supressão de múltiplas.

4.4.7 Empilhamento CMP

No empilhamento, as famílias de traços CMP são sobrepostas de modo a formarem um único traço CMP (YLMAZ, 1987), como mostra a Figura 29. Este traço resultante seria equivalente a um traço obtido caso fonte e receptor estivessem posicionados no ponto médio da seção. O conjunto de traços gerados configura a seção empilhada de afastamento nulo, em que eventos de reflexão, associados aos refletores horizontais, correspondem a um mesmo ponto.

Figura 29 - Empilhamento CDP. (a) - Famílias de ponto médio comum; (b) – Aplicada a Correção NMO; (c) Traço simulado de afastamento nulo, gerado após o Empilhamento CMP.



Fonte: Yilmaz (1987).

O empilhamento dos dados é feito a partir da soma de todos os sinais (ou traços) referentes a um CMP já silenciado. Cada traço resultante de um CMP é colocado lado a lado em um gráfico chamado de seção sísmica empilhada. A seção sísmica mostra a feição geral do modelo geológico estudado, e a amplitude dos eventos das interfaces carrega informações sobre as propriedades das camadas.

A qualidade da seção sísmica empilhada obtida dependerá do grau de precisão alcançado na determinação das velocidades das camadas em subsuperfície, ou seja, da análise de velocidade. A seção empilhada é o resultado obtido após a determinação do campo de velocidades. Com um campo de velocidades bem determinado já temos uma boa indicação do que se pode encontrar em subsuperfície e, conseqüentemente, teremos uma boa seção empilhada.

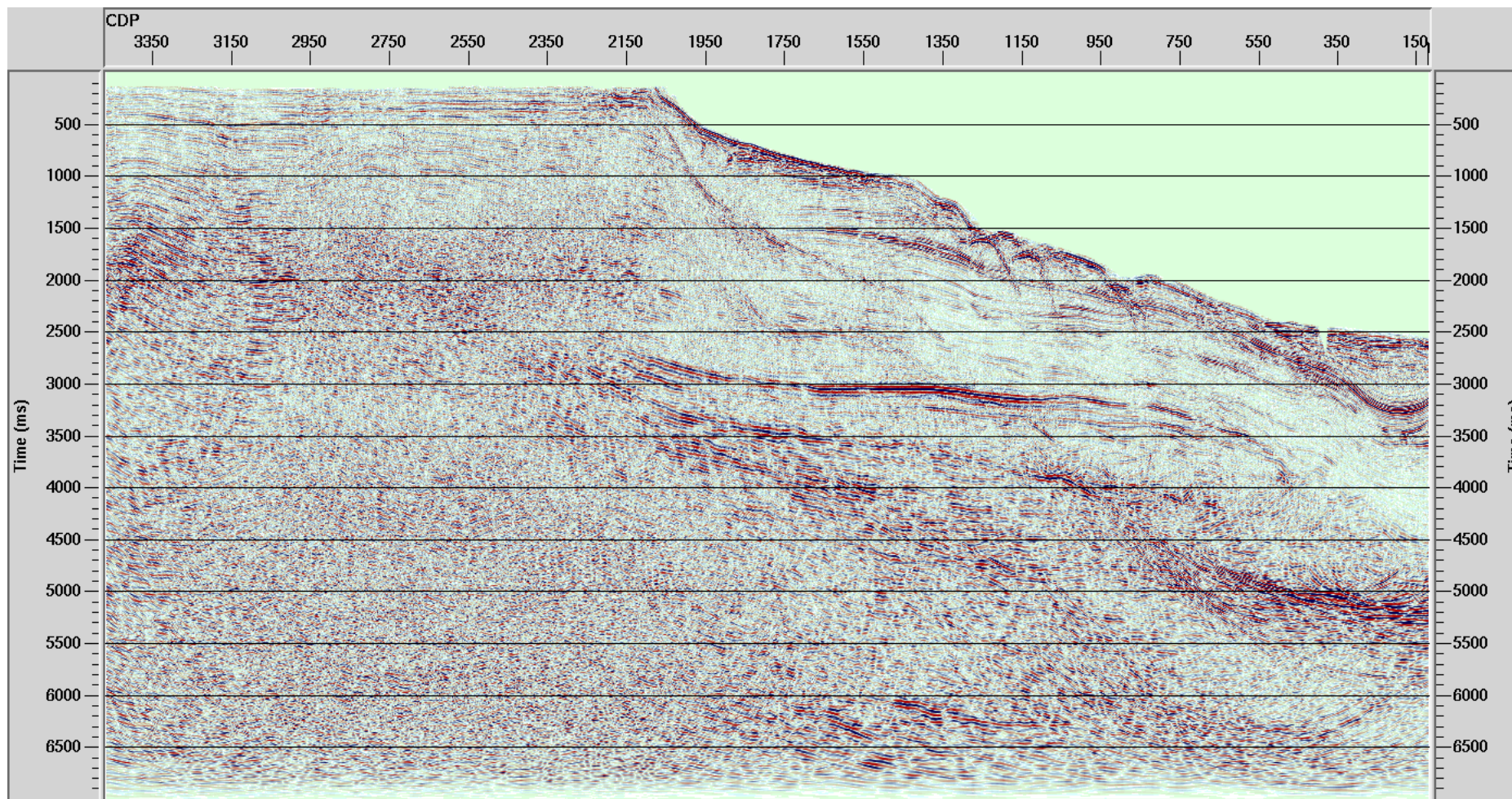
4.4.8 Migração

As seções migradas são o objetivo final do processamento sísmico. A migração do sinal sísmico tem como objetivo posicionar corretamente os refletores sísmicos em subsuperfície, corrigindo os eventos provenientes de irregularidades nas interfaces refletoras que ocorrem nas seções sísmicas, reposicionando as reflexões primárias para suas reais posições espaciais em subsuperfície e reduzir as difrações registradas no meio, produzindo assim, uma imagem sísmica que possibilite uma melhor interpretação dos dados sísmicos, ou seja, proporciona maior similaridade entre a seção sísmica migrada e a seção geológica (YILMAZ, 1987). Para este trabalho foi realizada a chamada migração em tempo que carrega informações da estrutura geológica do meio e de suas velocidades, reposicionando as reflexões tanto em suas coordenadas de superfície quanto nas coordenadas de tempo.

Como produto final, gera uma seção sísmica migrada em tempo. Este tipo de migração tem tempo de comutação mais rápido e é mais robusta a presença de ruídos no modelo de velocidade.

A seguir, é apresentada a seção migrada dos dados da linha SEG-Y 214-0268 (Figura 30). Para produzir essa seção foi utilizado o campo de velocidade de onda suavizado, mostrado na Figura 24.

Figura 30 - Seção migrada da linha SEGY 0214-0268, da Bacia do Jequitinhonha. Essa seção foi gerada ao final da etapa de processamento, já com a aplicação das técnicas de atenuação de múltiplas.



Fonte: do Autor.

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo é feita a interpretação das seções sísmicas migradas em tempo, geradas ao final da etapa de processamento de cada uma das linhas utilizadas neste trabalho. A interpretação sísmica baseia-se na coerência lateral presente nos refletores de cada seção migrada em tempo. Logo em seguida, é feita a interpretação sismoestratigráfica da área de estudo, com base na interpretação sísmica das seções, utilizando, na medida do possível, os padrões de reflexões apresentados no capítulo 3.

5.1 Interpretação Sísmica das Seções Migradas em Tempo

Com base nas quatro seções migradas, foi feita a interpretação qualitativa das linhas sísmicas da Bacia do Jequitinhonha. Considerando a qualidade dos dados sísmicos obtidos, foi possível escolher e interpretar da forma mais adequada possível os eventos que são registrados nessa porção da bacia. Deve-se aqui ressaltar que, em virtude da não disponibilidade de dados oriundos de poços perfurados na região, a identificação das formações geológicas e a denominação de suas unidades não foi possível, sendo que a interpretação baseia-se apenas na sismoestratigrafia.

Sheriff (1991) define um horizonte sísmico como sendo a superfície que separa duas camadas diferentes de rocha, onde tal superfície (mesmo sem ter sido identificada) está associada com uma reflexão que estende-se por uma grande área. Um horizonte sísmico se manifesta em um dado sísmico como uma série de eventos (picos ou vales de amplitudes sísmicas) que aparecem de forma consistente traço a traço. O mapeamento dos horizontes do conjunto de dados é uma das tarefas mais importantes da interpretação sísmica. Os horizontes sísmicos também são chamados de refletores.

Em Geologia, um horizonte sísmico (ou refletor) é uma subsuperfície presente na região geológica onde os dados foram adquiridos. Os horizontes se distinguem entre si por apresentarem características geológicas bastante particulares, tais como a espessura da camada de sedimentos que os define e características físicas do material sedimentar que os compõe, além da sua vizinhança geológica.

A seguir, são descritos os principais refletores observados nas linhas sísmicas utilizadas neste trabalho. Os critérios adotados para esse trabalho foram a coerência lateral presente nos refletores de cada seção migrada em tempo, a representação desses refletores por picos com a amplitude o mais forte possível, com distribuição ampla e confiável. A utilização de alguns padrões de terminação de reflexões também foi usada para dar um maior embasamento à interpretação sismoestratigráfica.

5.1.1 Linha 0214-0266

Para a linha 0214-0266 (Figura 31 e 32), de direção NE-SW, são observados 05 refletores semi-horizontais (ou superfícies refletoras), que representam o topo de estratos (camadas) sedimentares e do embasamento. Aqui, os numeraremos de S_1 a S_5 , de baixo para cima, segundo a definição de Sheriff (1991). Também são observados 06 refletores semi-verticais, pouco inclinados, que representam falhas normais (Figura 32).

Todos os estratos são seccionados por falhas normais, por vezes em mais de uma parte. Em geral, são contínuos ao longo da seção, desde a porção marinha até a porção terrestre da linha, onde se torna de difícil reconhecimento a sua continuação. À direita da seção, que representa a porção marinha da linha 0214-0266, esses estratos encontram-se parcialmente dobrados (linhas pontilhadas vermelhas da Figura 32), sendo mais bem representado pelas superfícies S_5 , S_4 e S_3 . Nos estratos representados por S_1 e S_2 , esse dobramento é pouco representativo. Há a presença de domos de sal próximo ao local onde a linha termina o que poderia ter causado o dobramento observado nos estratos, uma vez que esses domos salinos parecem influenciar a deformação registrada na área.

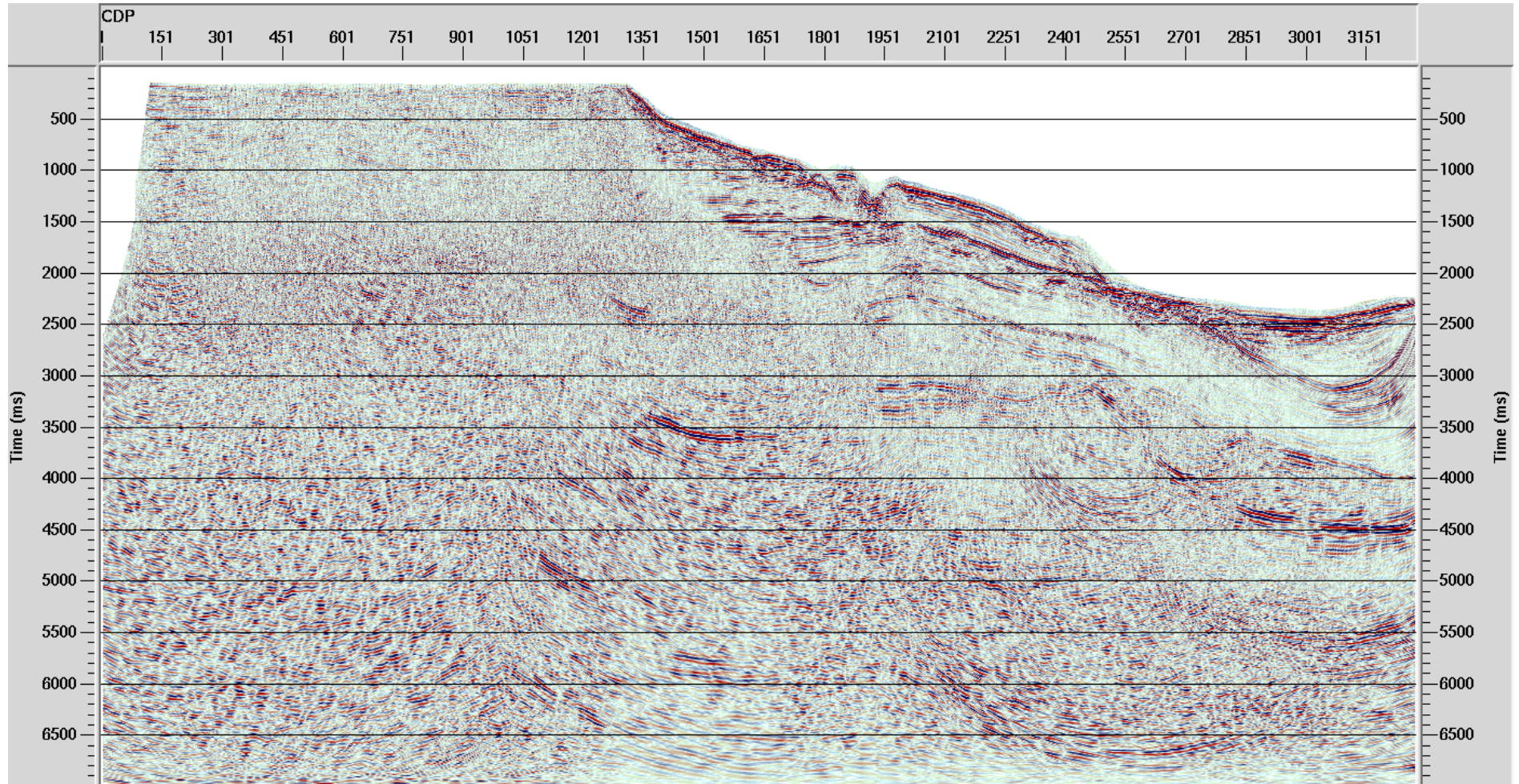
Comparando a posição geográfica da linha com o mapa geológico da área (Figura 33), supõe-se que a razão pela qual esses horizontes desenvolvam essa curvatura nessa exata posição talvez seja pela existência de maciços e domos de sal que ocorrem às proximidades da área do levantamento sísmico, mas que não podem ser vistos na seção, pois a linha foi interrompida onde eles supostamente começariam. Para a linha 0214-0266, essa “curvatura” que vemos nos horizontes da

seção pode muito bem representar uma dobra sinclinal existente nessa porção da bacia.

As falhas que seccionam esses estratos são todas falhas normais, com angularidade alta e mergulhos para NE (segundo a orientação da linha), muito próximos entre si, que cortam as camadas desde o assoalho oceânico até o embasamento. Parece ser o fator diretamente responsável pela formação de dobras do tipo *roll-over* observado em S_2 e S_3 , próximo ao CDP 1801. Considerando a proximidade e a angularidade das falhas da porção marinha da linha, é provável que elas sejam o resultado de alguma reativação que ocorreu na área.

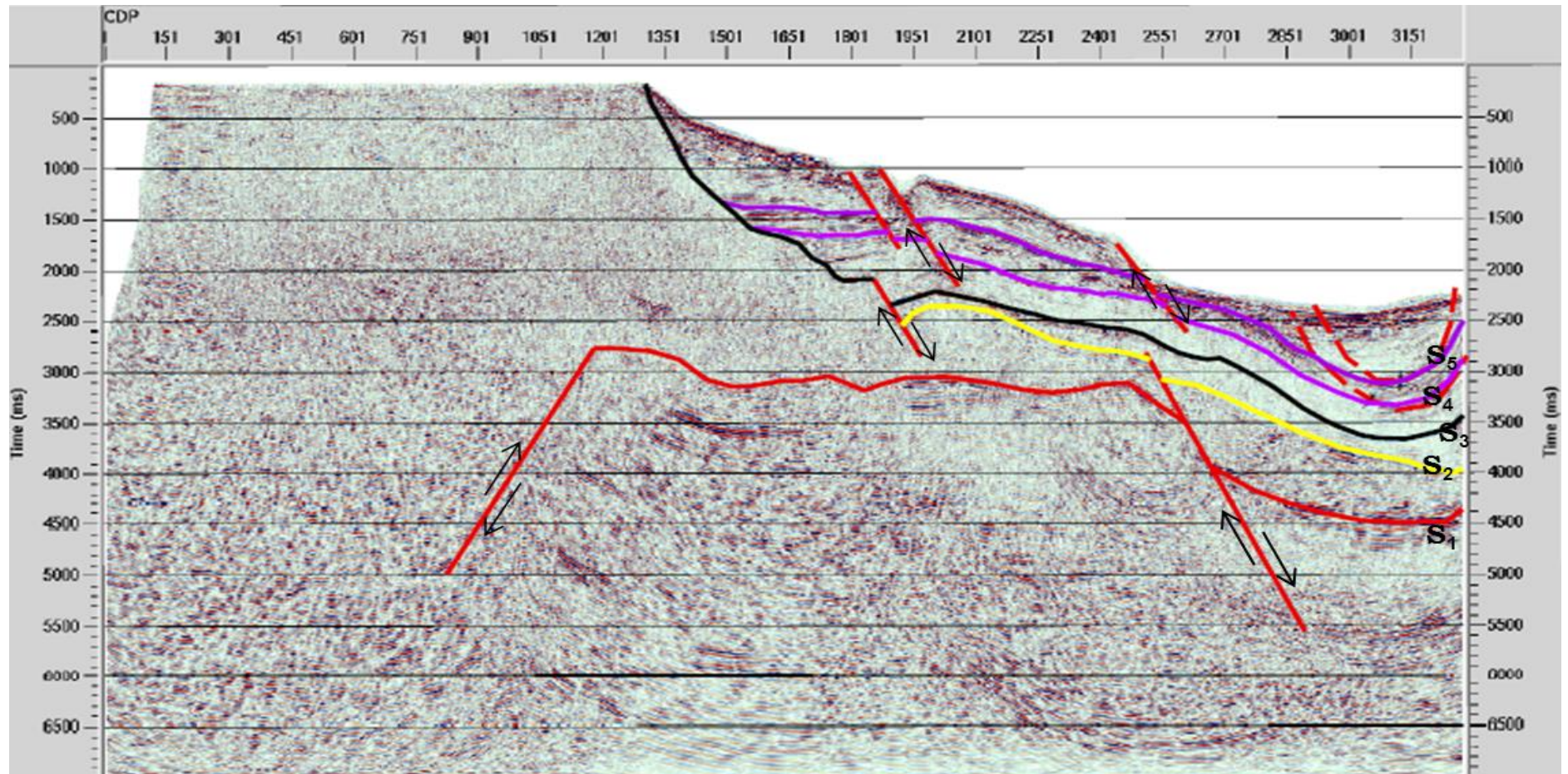
Além dos estratos sedimentares ainda é possível observar a formação de um alto estrutural, que é representado sismicamente por uma feição caótica, tornando-se difícil de definir a ocorrência de um refletor em seu interior. Devido a distância relativa aos domos salinos presentes na Bacia (Figura 33), esse alto estrutural é, provavelmente, partes do embasamento da Bacia (Figura 3).

Figura 31 – Seção migrada em tempo da Linha 0214-0266 não interpretada. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície.



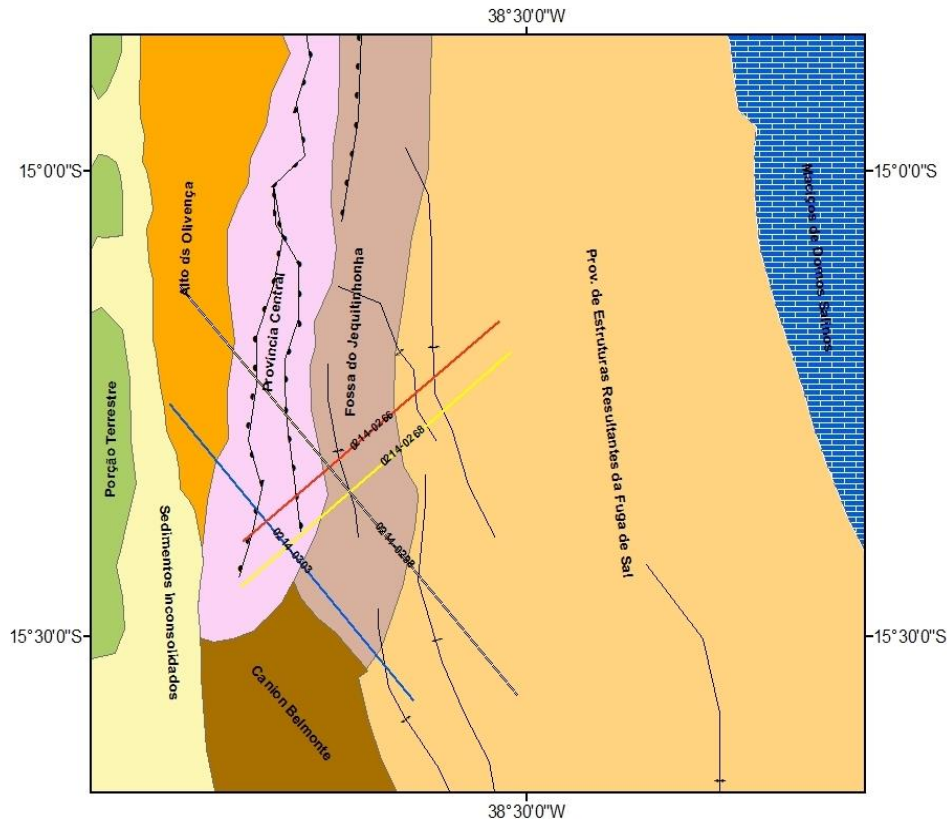
Fonte: do Autor.

Figura 32 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0266 interpretada. Aqui são demarcados os principais refletores presentes na seção. Pode-se visualizar possíveis topos de camadas, falhas normais e sinclinais presentes na seção. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 e S_5)



Fonte: do Autor.

Figura 33 - Mapa estrutural da bacia do Jequitinhonha mais a posição das linhas utilizadas neste trabalho. Notar que a porção marinha das linhas 0214-0266 e 0214-0268 (vermelha e amarela, respectivamente) estão encaixadas em uma área muito deformada em virtude da formação de Maciços e Domos de Sal.



Fonte: Caixeta *et.al.* (2008)

5.1.2 Linha 0214-0268

Para a linha 0214-0268, de direção NE-SW, são observados seis refletores semi-horizontais principais, que representam o topo de estratos (camadas) sedimentares e do embasamento. Também são observados seis refletores inclinados, que representam falhas normais (Figuras 34 e 35).

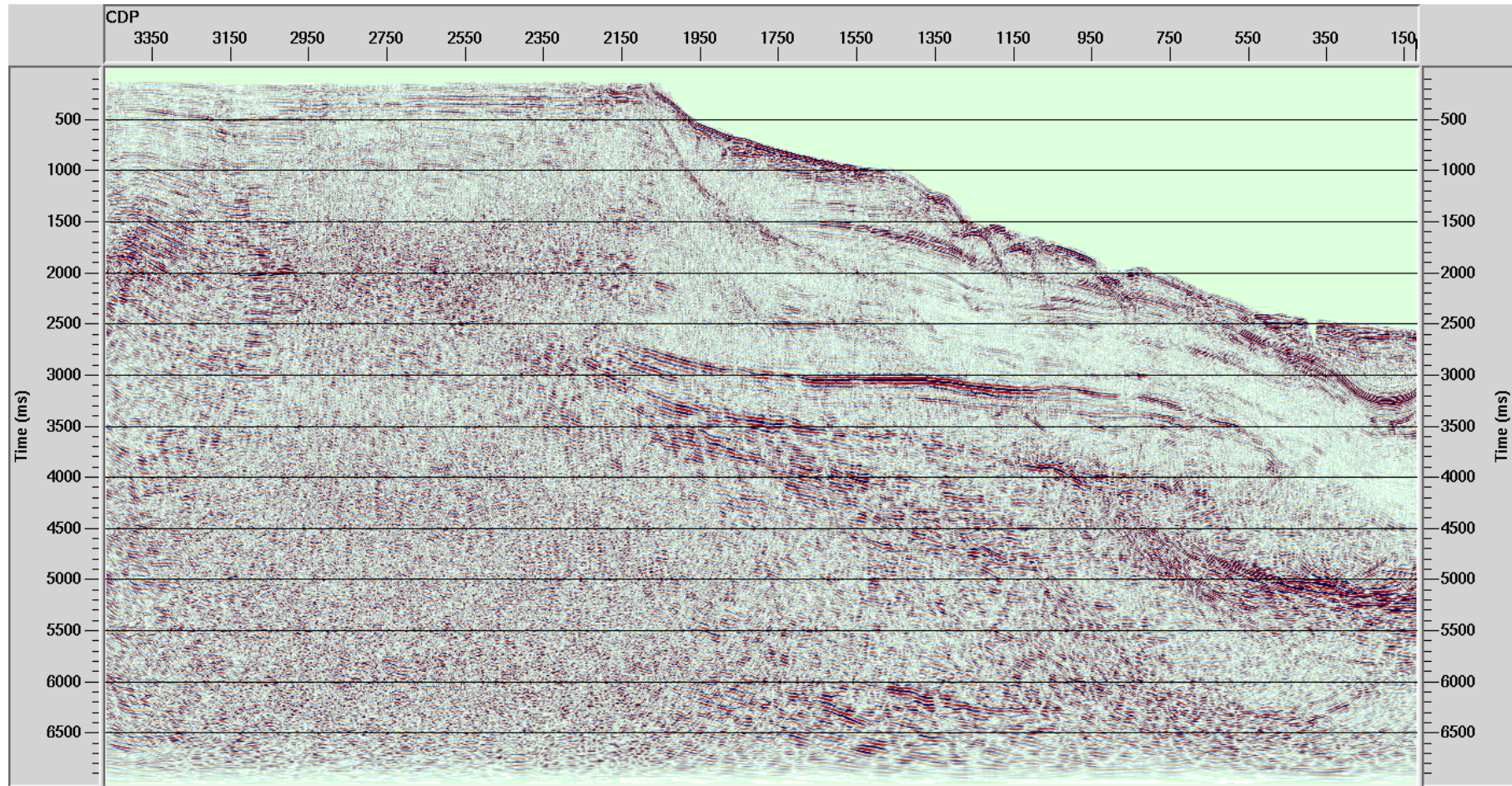
Todos os estratos são seccionados ou interrompidos por falhas normais, por vezes em mais de uma parte. Em geral, são contínuos ao longo da seção migrada até a porção terrestre da linha, onde se torna de difícil reconhecimento sua continuação. Entretanto, mesmo na porção terrestre ainda pode-se observar algumas superfícies ligeiramente onduladas, entre os CDP's 3350 e 1850, que se tornam cada vez mais ondulados a medida que se aproximam do embasamento. Da

mesma forma como observado na linha 0214-0266, na porção marinha da linha 0214-0268, esses estratos encontram-se parcialmente dobrados (linhas pontilhadas vermelhas da figura 35), sendo mais bem representado pelas superfícies S_6 , S_5 , S_4 e S_3 . Nos estratos representados por S_1 e S_2 , esse dobramento é pouco representativo. Da mesma forma que a linha 0214-0266, a linha 0214-0268 termina antes de alcançar o domo salino existente na área, mas sua presença poderia ser o fator responsável pelo dobramento observado nos estratos.

As falhas que seccionam esses estratos são todas falhas normais, com angularidade altas e mergulhos para NE, que cortam as camadas desde o assoalho oceânico até o embasamento. Parecem ser o fator diretamente responsável pela formação de dobras do tipo *roll-over* observado no estrato RH_6 entre os CDP's 750 e 1350. Dada a proximidade e a angularidade das falhas da porção marinha da linha, é provável que elas sejam o resultado de alguma reativação que ocorreu na área.

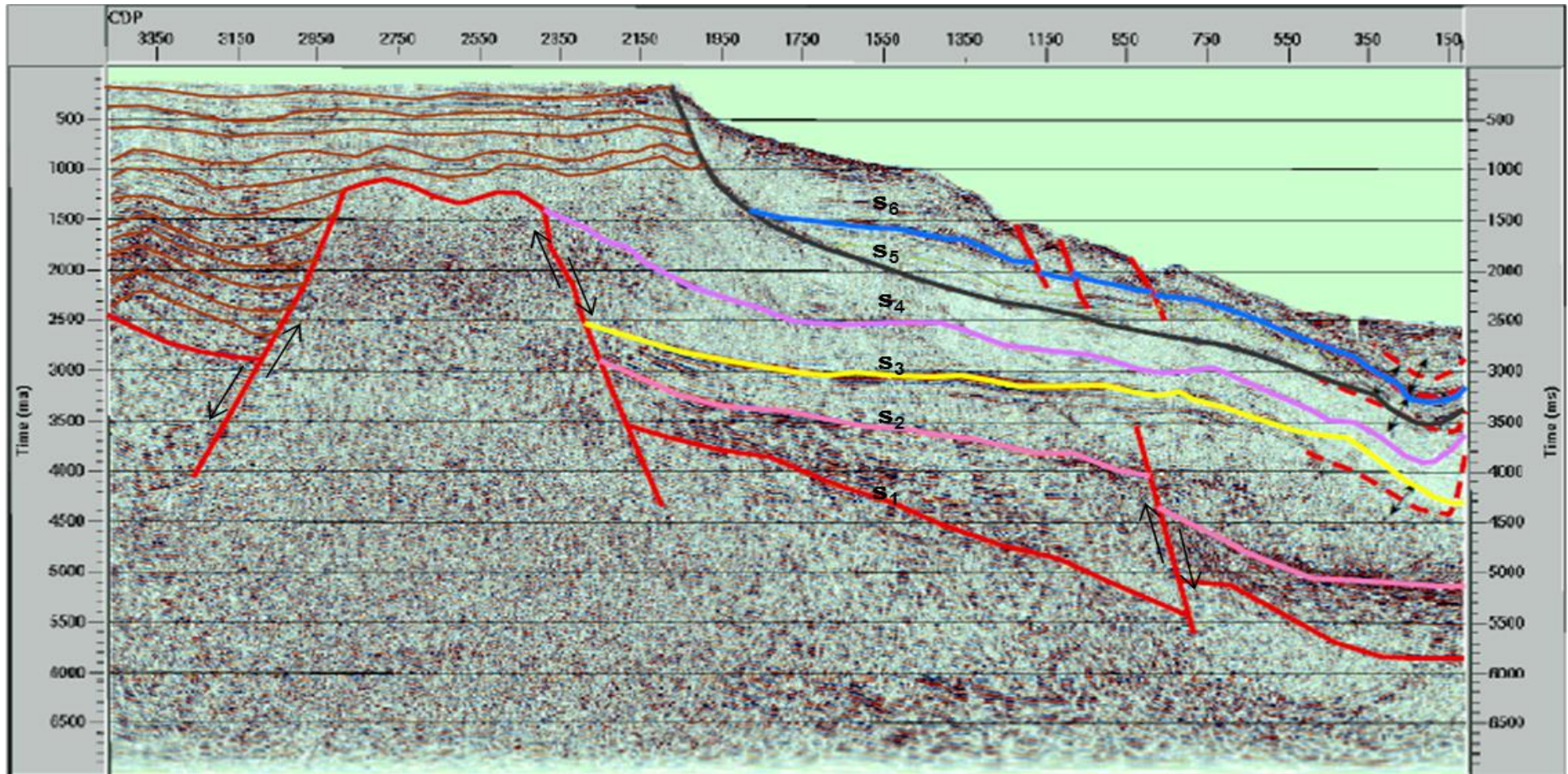
Além dos estratos sedimentares ainda pode-se observar a formação de um alto estrutural, delimitado por falhas normais, que é representado sismicamente por uma feição caótica, tornando-se difícil de definir a ocorrência de um refletor em seu interior. Provavelmente trata-se de partes do embasamento da Bacia. Esse alto interrompe os estratos S_1 a S_4 , de um lado e do outro, influencia diretamente nas superfícies onduladas que vemos a sua esquerda, sendo esse alto, provavelmente, a feição responsável pela formação dessas superfícies onduladas.

Figura 34 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0268 não interpretada. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície.



Fonte: do Autor.

Figura 35 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0268 Interpretada. Aqui são demarcados os principais refletores presentes na seção. Pode-se visualizar possíveis topos de camadas, falhas normais e possíveis sinclinais. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , S_4 , S_5 e S_6).



Fonte: do Autor.

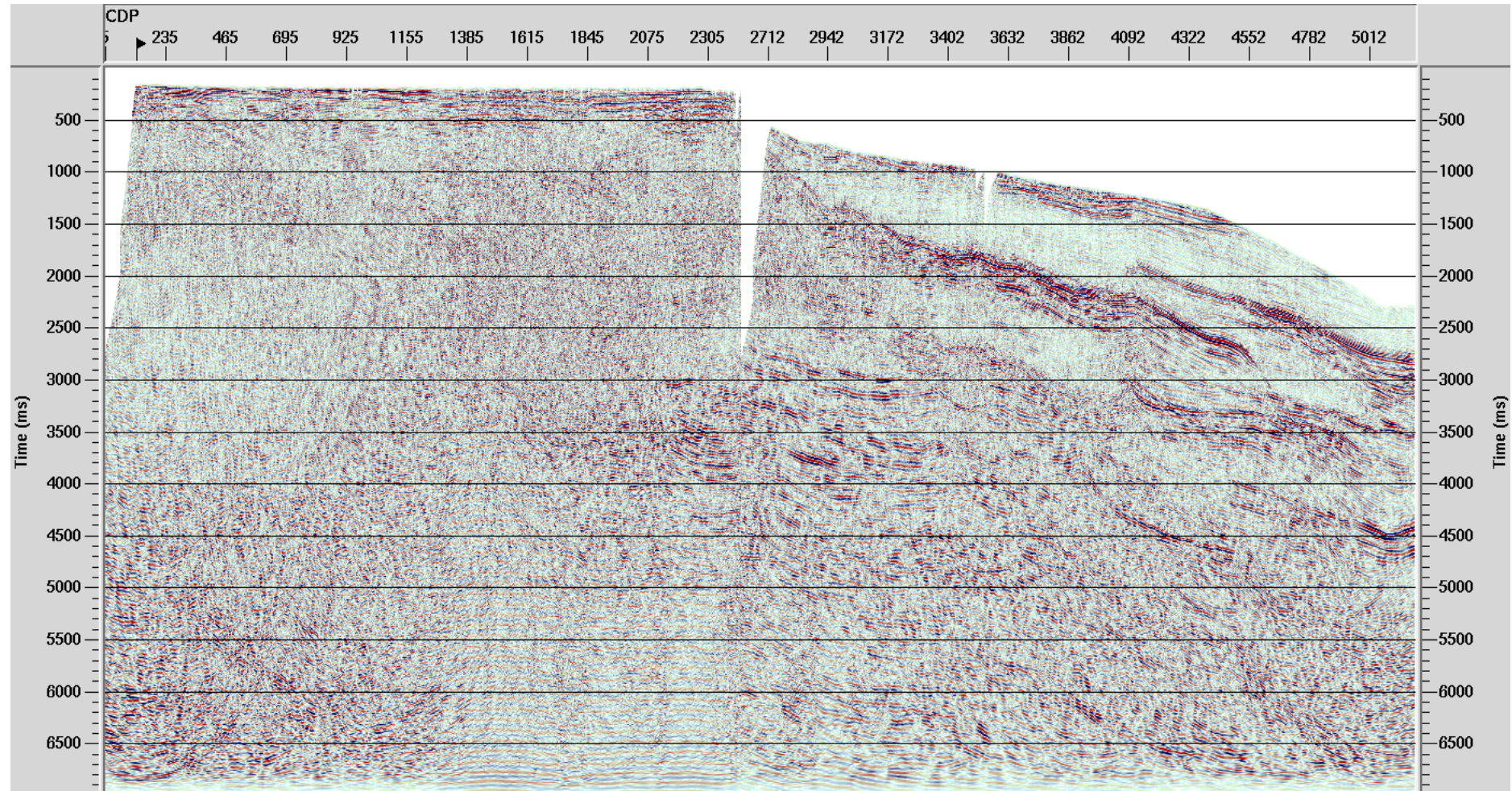
5.1.3 Linha 0214-0298

Na seção em tempo da linha 0214-0298, de direção NW-SE, pode identificar seis refletores, sendo quatro deles horizontais, que representam estratos (camadas) sedimentares e o embasamento e dois semi-verticais, que representam falhas normais (Figuras 36 e 37).

Nesta linha os estratos observados estendem desde a porção marinha rasa até o início da porção terrestre da seção, têm a mesma extensão e apenas o estrato S₄ não se encontra seccionado ou interrompido por falhas normais. De forma semelhante às linhas vistas até agora, ao alcançar a porção terrestre da seção, se torna de difícil observar a continuação desses estratos. Enquanto as linhas 0214-0266 e 0214-0268 apresentavam uma deformação significativa em alguns de seus estratos quando eles se aproximavam da porção marinha mais profunda da seção. Na linha 0214-0298 essa deformação só pode ser observada no estrato S₄, mesmo que de forma quase imperceptível. A linha foi obtida muito próxima ao continente (Figura 33), praticamente na região de talude, estando mais afastada da província de estruturas resultantes da fuga de sal o que poderia explicar a ausência de feições de curvamento nos horizontes observados na linha.

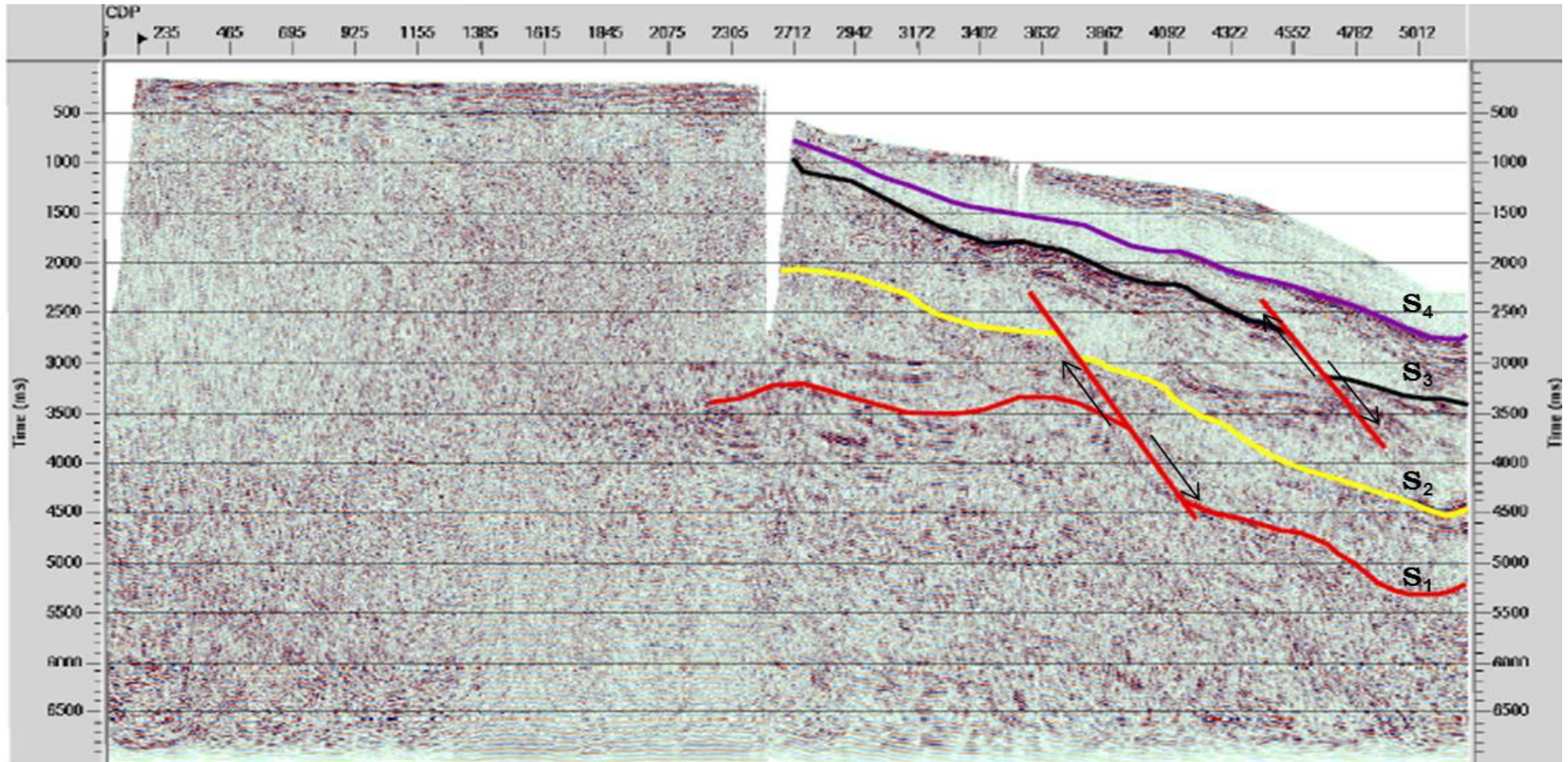
As falhas que seccionam esses estratos são falhas normais, com angularidade moderada e mergulhos para SE (considerando a orientação da linha), que cortam as camadas desde o assoalho oceânico até o embasamento. Parecem ser o fator diretamente responsável pela formação de dobras do tipo *roll-over* observado no estrato S₃ entre os CDP's 4552 e 4782.

Figura 36 - Seção migrada em tempo da Linha 0214-0298 não interpretada. Esta linha apresenta falta de informação originada quando de sua aquisição devido à falhas nas fontes e/ou receptores. Apesar disso, o processamento foi capaz de prover uma seção migrada de boa visualização de seus refletores. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície.



Fonte: do autor.

Figura 37 - Linha 0214-0298 Interpretada. Aqui são demarcados os principais refletores presentes na seção. São visíveis possíveis topos de camadas e falhas normais. Não são visualizados sinclinais ou a continuação dos horizontes na seção, a partir do CDP 2712. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , e S_4).



Fonte: do Autor.

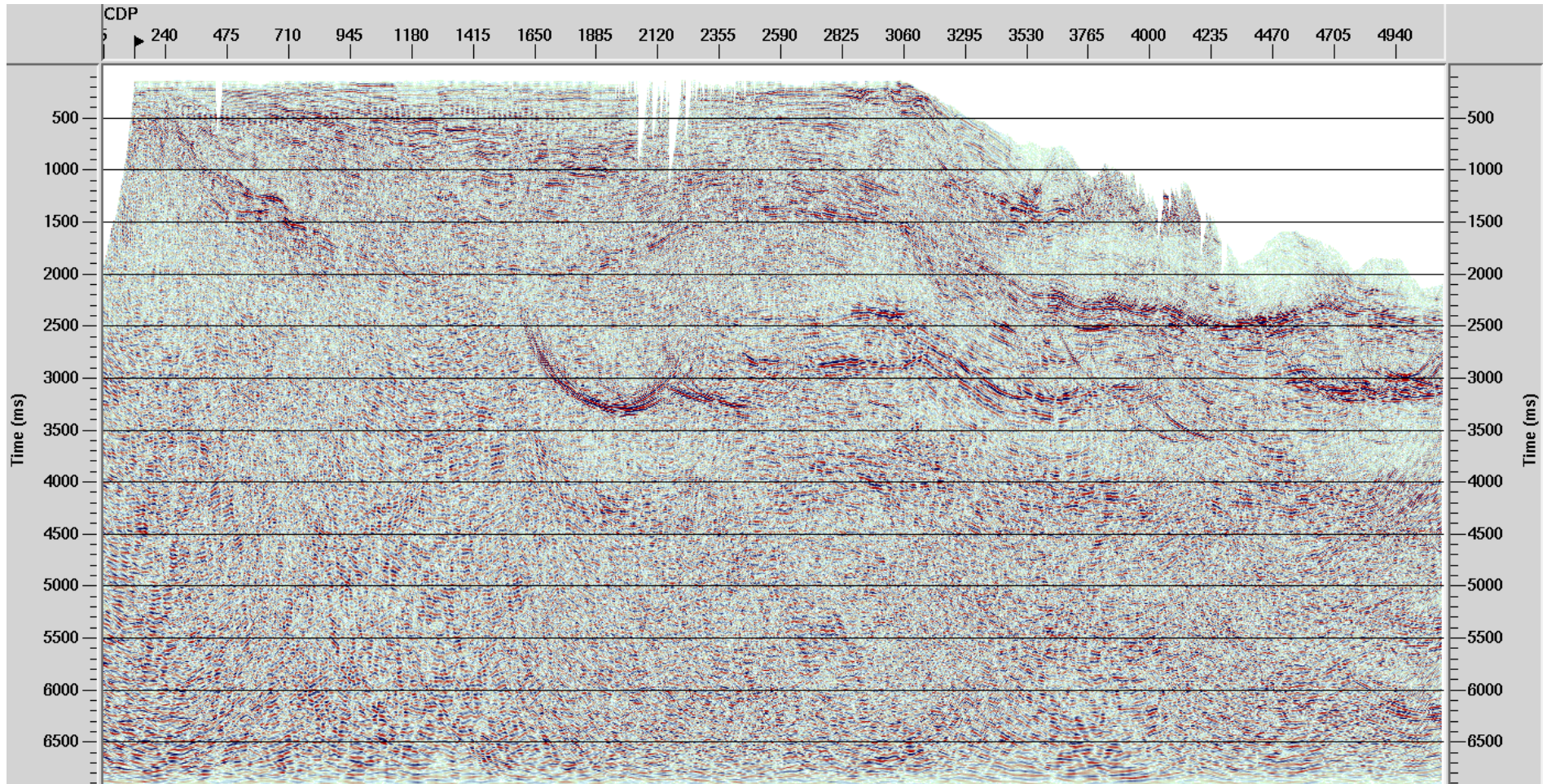
5.1.4 Linha 0214-0302

Para a linha 0214-0302, de direção NW-SE, são observados quatro refletores semi-horizontais, que representam o topo de estratos (camadas) sedimentares e do embasamento. Aqui, os numeraremos de S_1 a S_4 de baixo para cima, segundo a definição de Sheriff (1991). Também são observados quatro refletores inclinados, que representam falhas normais (Figuras 38 e 39).

Nesta linha os estratos observados estendem desde a porção marinha rasa até o início da porção terrestre da seção, têm a mesma extensão e todos são seccionados ou interrompidos por falhas normais. Diferentemente das linhas vistas até agora, seus refletores semi-horizontais continuam a ser reconhecíveis, mesmo ao alcançar a porção terrestre da seção. Da mesma forma que observado na linha 0214-0298, o dobramento registrado nos estratos da linha 0214-0302 é quase imperceptível, sendo mais bem visualizado nos estratos S_1 S_2 . Esta linha também foi obtida muito próxima ao continente (Figura 33), praticamente na região de talude, estando mais afastada da província de estruturas resultantes da fuga de sal o que poderia explicar a ausência de feições de dobramento nos horizontes observados na linha.

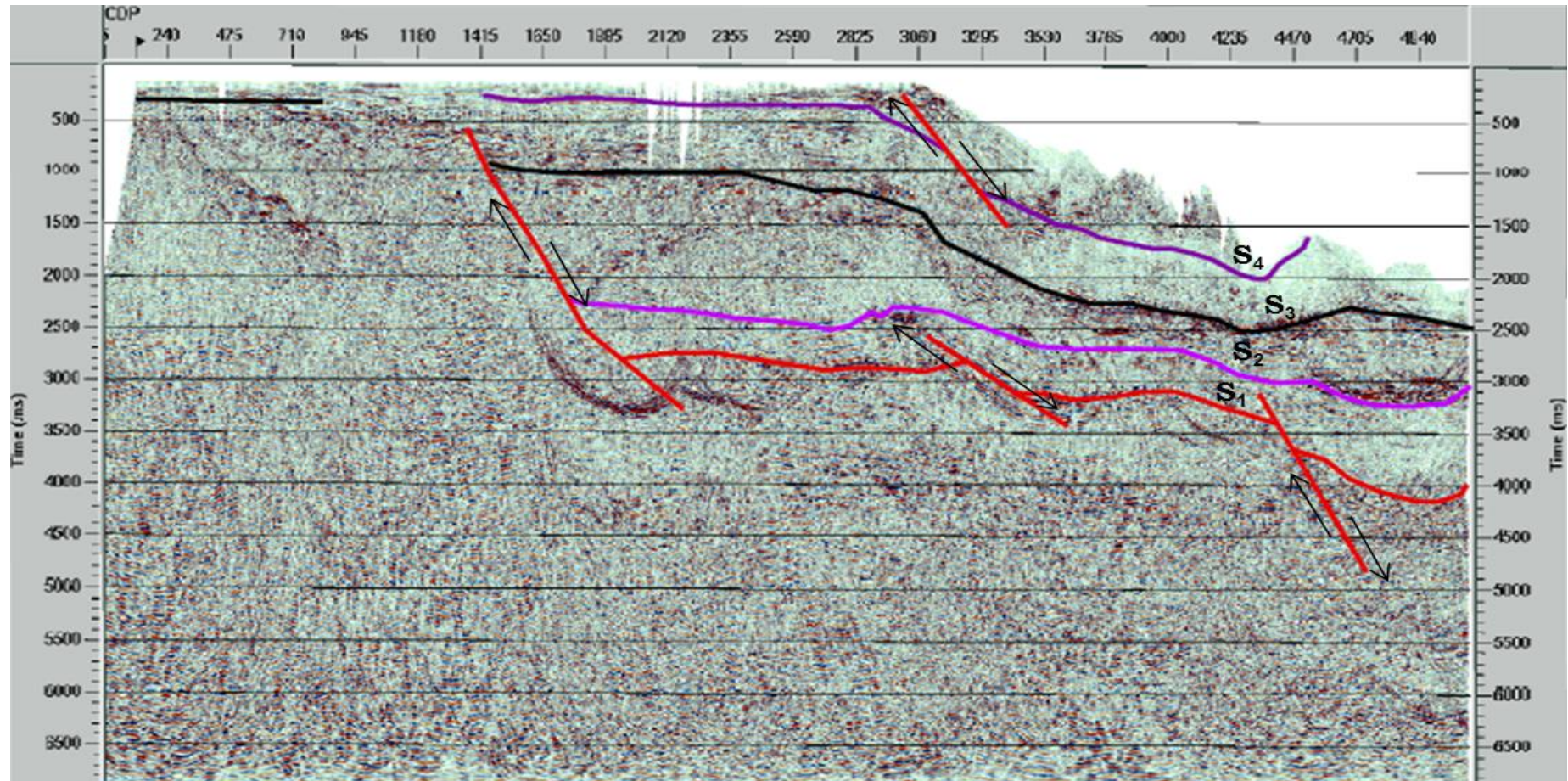
As falhas que seccionam esses estratos são falhas normais, com angularidade moderada a baixa, quase horizontalizada em alguns locais, mergulhando para SE (considerando a orientação da linha), que cortam as camadas desde o assoalho oceânico até o embasamento.

Figura 38 - Linha 0214-0302 não interpretada. Esta linha também apresenta falta de informação devido a problemas na aquisição (mal funcionamento das fontes/receptores, por exemplo), o que gerou uma razão sinal/ruído muito baixa em alguns de seus pontos. Entretanto, o processamento da linha ainda foi capaz de gerar uma seção migrada onde é possível a visualização parcial de seus refletores. A seção foi migrada após a atenuação das múltiplas de superfície.



Fonte: do autor.

Figura 39 - Linha 0214-0302 Interpretada, com a demarcação dos principais refletores presentes na seção. Pode-se visualizar possíveis topos de camadas e falhas normais. Não são visualizados sinclinais na seção desta linha. Os horizontes (ou superfícies) sísmicos são representados, na figura, por linhas inclinadas, semi-horizontais, de diferentes cores, cada uma caracterizando uma superfície refletora (S_1 , S_2 , S_3 , e S_4).



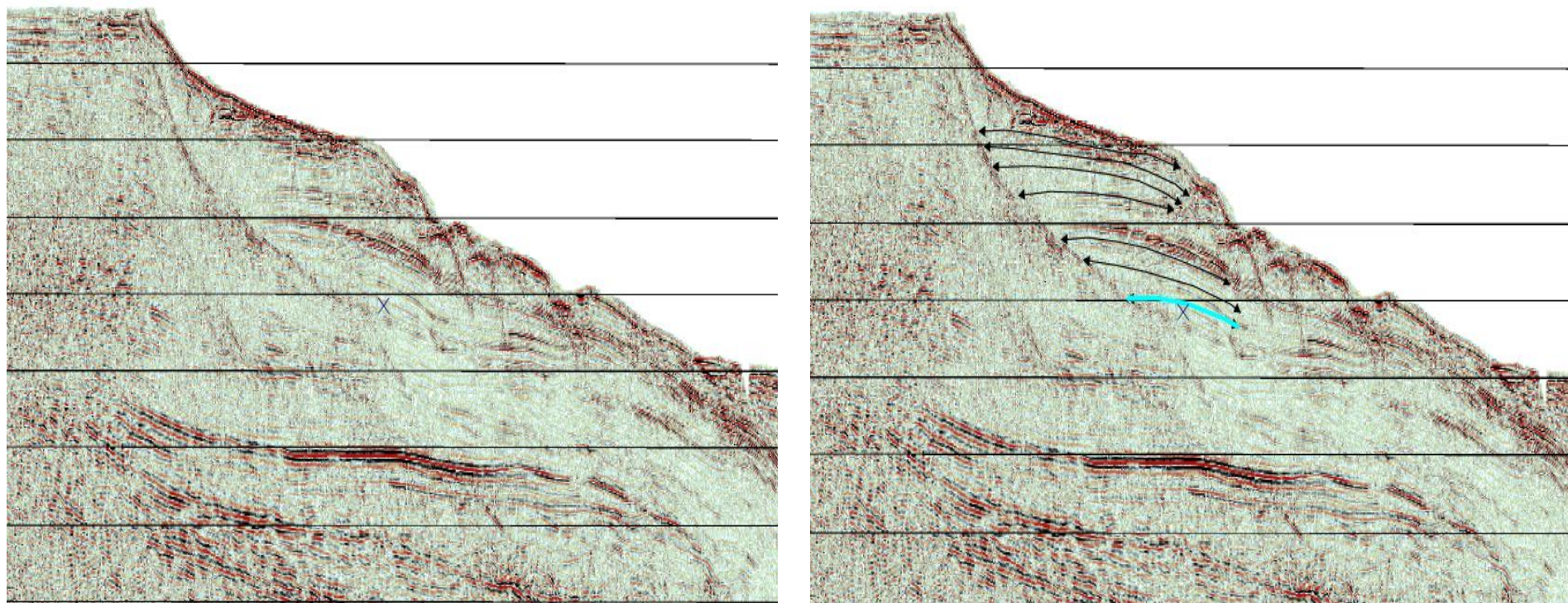
Fonte: do autor.

5.2. Interpretação Sismoestratigráfica com base nas seções sísmicas Migradas em Tempo.

Nesta etapa do trabalho a maior preocupação foi a marcação de refletores que pudessem nos fornecer informações suficientes para uma possível identificação de camadas litológicas e estruturas geológicas que ocorrem em cada linha sísmica. Entretanto, uma análise mais atenciosa de cada linha sísmica revelou, também, padrões que podem nos fornecer informações a respeito da deposição na bacia. Embora a resolução ainda não esteja boa o suficiente, foi possível visualizar a presença de possíveis *onlaps* na linha 0214-0268 (Figura 40).

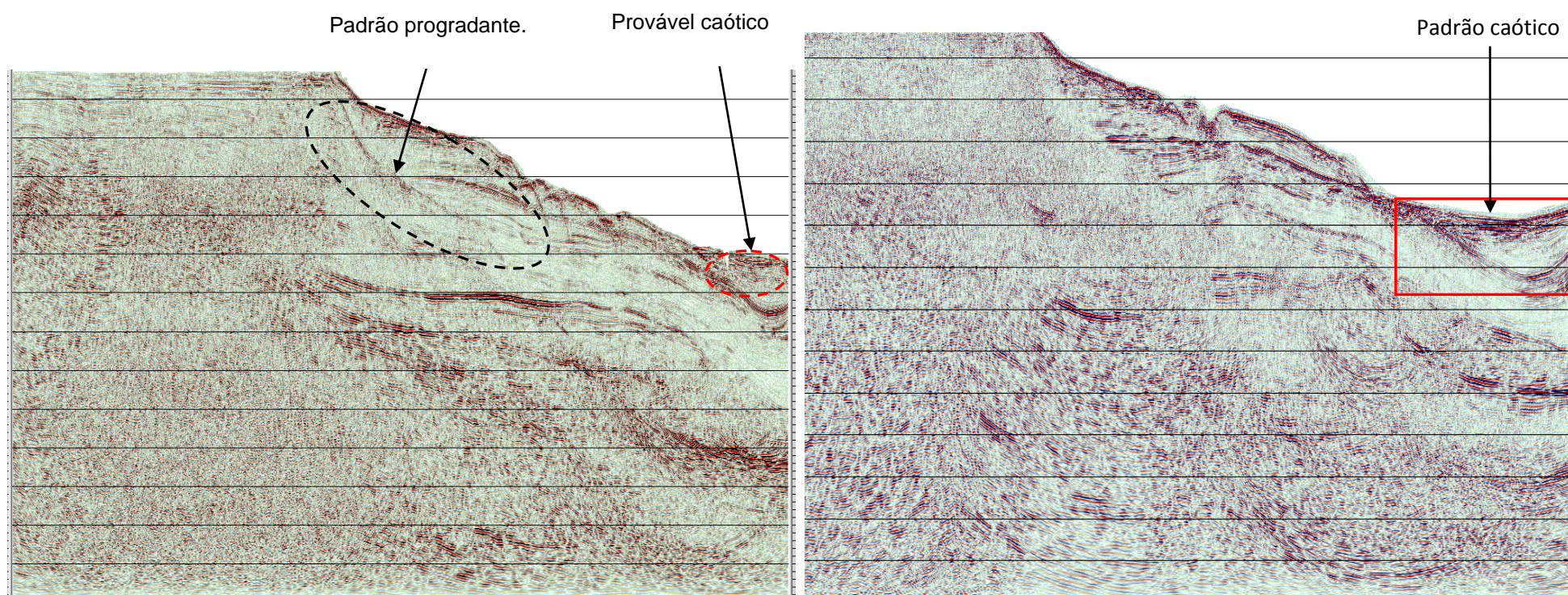
Quanto aos padrões de configuração de fácies sísmicas, pode-se dizer que as fácies sísmicas registradas para as linhas são subparalelas a fracamente onduladas. Também são registrados padrões progradantes, do tipo **obliqua tangencial**, formando o que, provavelmente, pode ser considerado como superfícies inclinadas, como as registradas para a linha 0214-0268 (Figura 40). O padrão caótico também ocorre nas linhas 0214-0268 e 0214-0266, na porção marinha das linhas, justamente onde é possível observar a ocorrência de dobramentos (Figura 41).

Figura 40 - Prováveis *onlaps* registrados na linha 0214-0268. **A** - prováveis *onlaps* da linha 0214-0268 são observados próximo ao topo da figura, desenvolvendo-se sobre uma superfície inclinada. **B** - marcação dos prováveis *onlaps* da linha 0214-0268. Esses prováveis *onlaps* ocorrem mais próximos ao topo da figura, sobre uma superfície inclinada. A possibilidade ser um *onlap* baseia-se no fato de que esse padrão de terminação sísmica horizontalizado assenta-se sobre uma superfície inclinada no início do talude da Bacia do Jequitinhonha.



Fonte: do Autor.

Figura 41 - Prováveis padrões progradantes (elipse preta) e caótico (retângulo vermelho), registrados nas linhas 0214-0266 e 0214-0268. O padrão progradante sugere, juntamente com o padrão dos *onlaps*, a deposição de sedimentos em um ambiente de águas rasas, com alta carga sedimentar e grande energia de transporte. Já o padrão caótico sugere a deformação de superfícies sedimentares, o que pode ser indicativo da geração de dobras do tipo sinclinal na Bacia do Jequitinhonha.



Fonte: do Autor.

Como o *onlap* é um padrão que representa uma mudança de um período de deposição marinha para um período de não deposição e resulta do preenchimento parcial do espaço por sedimentos marinhos, pode-se aqui sugerir que as camadas sedimentares representadas pelos horizontes S₁, S₂, S₃ e S₄ nas linhas sísmicas possam representar uma fase de regressão marinha na Bacia do Jequitinhonha, enquanto as camadas sedimentares representadas pelos horizontes S₅ e S₆ (Linhas 0214-0266, 0214-0268 e 0214-0298), mais profundos, talvez possam representar uma transgressão marinha na bacia.

Essas suposições provavelmente podem encontrar embasamento se observarmos a Seção Geológica e a Carta Estratigráfica de Bacia do Jequitinhonha (Figuras 3 e 5, respectivamente), tomando como base a Formação Urucutuca. A partir da porção inferior da Formação Urucutuca, podemos observar a predominância de sedimentos marinhos, o que caracterizaria uma sequência sedimentar transgressiva na bacia (aqui poderia corresponder aos horizontes S₄, S₅ e S₆ das linhas 0214-0266, 0214-0268 e 0214-0298).

A partir da porção superior da Formação Urucutuca há a predominância de sedimentos continentais, o que caracterizaria uma sequência sedimentar regressiva na bacia (aqui poderia corresponder aos horizontes S₁, S₂, S₃ e S₄).

A ocorrência do Grupo Barra Nova (formado quase que totalmente por calcários de alta e baixa energia e por folhelhos radioativos) não pode ser de fato comprovada através dos dados sísmicos, mas, devido a sua disposição na Carta Estratigráfica, pode-se supor que ela ocorre a partir do horizonte S₄ e S₅, uma vez que o Grupo Barra Nova encontra-se abaixo da Formação Urucutuca.

A Megassequência Transicional Evaporítica não pode ser definida de modo algum através dos dados sísmicos, uma vez que o processamento não foi capaz de realçar as camadas que compõem essa Megassequência, considerando sua ocorrência na área de estudo.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho são apresentadas quatro linhas da Bacia do Jequitinhonha. A essas linhas foi aplicado processamento sísmico para atenuação de múltiplas de superfície livre. Como produto final, foram geradas quatro seções sísmicas migradas em tempo.

A partir dessas seções, foi feita uma interpretação baseada na identificação das sismofácies e no conhecimento a priori da geometria. Para uma interpretação mais rigorosa, seria necessária a informação de dados de poço (perfil sônico, perfil de densidade, etc.). A interpretação depende fundamentalmente da seção sísmica processada. Assim, os resultados apresentados dependem, essencialmente, do resultado do processamento. Qualquer estudo de natureza sismoestratigráfica de uma bacia sedimentar exige um prévio conhecimento de estratigrafia de sequências e de processamento de dados sísmicos.

A aplicação de processamento completo de dados sísmicos reais que foi realizada neste trabalho para os dados sísmicos marinhos registrados na Bacia do Jequitinhonha mostrou que a análise da frequência, da amplitude e tempo de percurso (*Moveout*) das ondas sísmicas, bem como a definição de sua velocidade são de grande importância para a obtenção de imagens de subsuperfície de boa qualidade.

Como resultado direto do processamento, foram obtidas seções migradas das linhas 0214-0266, 0214-0268, 0214-0298 e 0214-0302 para a porção da plataforma continental da Bacia do Jequitinhonha as quais foram utilizadas para a demarcação de seus refletores.

Nessas seções foi possível marcar vários refletores sísmicos que nos sugere tratar-se tanto de camadas litológicas como de estruturas geológicas presentes na bacia além do reconhecimento de padrões de deposição de camadas sedimentares.

Para trabalhos futuros recomenda-se a utilização de dados de poços aliado ao processamento de dados sísmicos a fim de realizar uma interpretação sismoestratigráfica mais rica e detalhada da bacia, confirmando, complementando ou mesmo corrigindo as informações geradas neste trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Quarta Rodada de Licitações - Bacia de Jequitinhonha. Superintendência de Definição de Blocos. 2002. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/brasilrounds/round4/round4/workshop/restrito/portugues/Jequitinhonha_port.PDF>. Acesso em: 23 jun. 2013
- ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Oitava Rodada de Licitações - Bacia de Jequitinhonha. Superintendência de Definição de Blocos. 2010. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/brasil-rounds/round3/downloads/sg_jequitinhonha.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2013.
- ASMUS, H.E. & PORTO, R. Diferença nos estágios iniciais da evolução da Margem Continental Brasileira; possíveis causas e implicações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Balneário de Camboriú, S.C., 1980. Anais. São Paulo, Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. v. 5. p. 2700-8
- ASMUS, H.E. (1984). Geologia da margem continental brasileira. In Geologia do Brasil, eds Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Derze, G.R., and Asmus, H.E., pp. 443-472. Departamento Nacional da Produção Mineral, Brasília, Brasil
- ANSTEY, N. A.; NEWMAN, P. Part I: *The Sectional auto-correlogram* and Part II: *The sectional retro-correlogram*. *Geophysical Prospecting*, v.14, n.4, p.389-426. 1966.
- ARAUJO, F.C. *Caracterização geoquímica de óleos das Bacias Camamu-Almada e Jequitinhonha, Bahia*. 2007. xvii, 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- CAIXETA, J.M.; RANGEL, H.D.; FLORES, J.L.; NASCIMENTO, M.M.; GALVAO, M.V.G. MACHADO, E.C.V. Tectônica de Sal na Bacia do Jequitinhonha. In: MOHRIAK, W.; SZATMARI, P.; ANJOS, S.M.C (Org) *Sal, geologia e tectônica: Exemplos das Bacias Brasileiras*. São Paulo. Beca, 2008. p 272-283.
- CASTILHO, J.G. Integração de dados de métodos potenciais e de sensoriamento remoto como subsídio à exploração petrolífera offshore das bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. 2005. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.
- CORDANI, U.G. & BRITO-NEVES, B.B. The geologic evolution of South America during Archean and Early Proterozoic. *Rev. Bras. Geoc.* 1982. (no prelo).
- CÓRDOBA, V. C. *Microfácies modelo deposicional e evolução da Plataforma Carbonática Albo-Cenomaniana da Bacia do Jequitinhonha*. 1990. 163f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – UFOP, Ouro Preto, 1990.
- EMERY, D.; MYERS, K.J. *Sequence stratigraphy*. [S.l.]: Blackwell Science Ltd., 1996. 297 p.

IKELLE, L. T.; AMUNDSEN, L. *Introduction to petroleum seismology*. [S.l.]: Society of Exploration Geophysicists, 2005. Disponível em: < >. Acesso em: 23 jun. 2013.

MACEDO, J.M. Evolução tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes. In: RAJA GABAGLIA, G.P.; MILANI, E.J. *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro, Brasil: Petróleo Brasileiro S.A., 1990. p.00-00.

MAGNAVITA, L. P., *et al.*. Controle da tectônica salífera na distribuição de fácies sedimentares na Bacia de Jequitinhonha, Bahia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 71, p. 1039-1040. 1999.

MITCHUM JR., R.M.; VAIL, P.R. ; THOMPSON III, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: PAYTON, C.E. (Ed.). *Seismic Stratigraphy applications to hydrocarbon exploration – Memoir 26*. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1977a. Part 2, p. 53-62.

MITCHUM JR., R.M.; VAIL, P.R.; SANGREE, J.B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 6: Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: PAYTON, C.E. (Ed.). *Seismic Stratigraphy applications to hydrocarbon exploration – Memoir 26*. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1977b. Part 6, p. 117-133.

RANGEL, H.D.; OLIVEIRA. J. L. F de.; CAIXETA. J. M. Bacia de Jequitinhonha. *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, v. 15, n. 02, p 475-483, maio/nov. 2007.

RIBEIRO, H.J.P. S. Sismo-estratigrafia. In: RIBEIRO, H.J.P. S. (Org.). *Estratigrafia de sequências – fundamentos e aplicações*. São Leopoldo/RS: EDUSINOS, 2001. Cap. 5, p. 73-98.

SANTOS, C. F.; GONTIJO, R. C.; FEIJÓ, F. J. Bacias de Cumuruxatiba e Jequitinhonha. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, v.8, n.1, p.185-190. 1994.

SHERIFF, R. E. *Encyclopedic dictionary of exploration geophysics*, 3rd ed. [S.l.]: SEG, 1991.

STOFFA, P. L. Tau-p: An Alternative domain for filtering, velocity analysis and imaging. In: SEG ANNUAL MEETING, 8.,1989, Dallas, Texas. *Expanded Abstracts*, Dallas, Texas, 1989. p, 551-554.

VAIL, P.R.; MITCHUM, R.M.; THOMPSON, S. *Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 3: relative changes of sea level fom coastal onlap*. In: PAYTON, C.E. (Ed.). *Seismic stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, 1977. Part 3, p. 63-81. (Memoir 26.).

VAN WAGONER, J.C.; POSAMENTIER, H.W.; MITCHUM, R.M.; VAIL, P.R.; SARG, J.F.; LOUTIT, T.S. ; HARDENBOL, J. An Overview of the fundamentals of sequence

stratigraphy and key definitions. In: WILGUS, C.K.; HASTINGS, B.S.; KENDALL, C.,G.ST.C.; POSAMENTIER, H.W.; ROSS, C.A. ; VAN WAGONER, J.C. (Eds.). *Sea-level changes: an integrated approach*. [S.I.]: Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, 1988. p. 39-46. (Special Publication, 42).

VERSCHUUR, D. J.; KABIR, M. M. N. Comparison of surface-related multiple elimination with radon multiple elimination. *Journal of Seismic Exploration*, n.1, p.363-377. 1992.

YILMAZ, O. *Seismic data processing*. Tulsa: Society of Exploration Geophysics, 1987. 526p.

YILMAZ, O. *Seismic Data Analysis. Processing, inversion and interpretation of seismic data*. 2. Ed.[S.I.]: Society Of Exploration Geophysicists, 2001. 2007p