



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE GEOLOGIA DO PETRÓLEO
CONVÊNIO UFRGS/ANP
AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO**

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO
RIFTE DA BACIA DE CAMPOS**

ANA PAULA FRANZ

ORIENTADOR: Prof. Dra. Karin Goldberg
SUPERVISOR: Prof. Dr. Juliano Kuchle

Porto Alegre, 2012

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO
RIFTE DA BACIA DE CAMPOS**

ANA PAULA FRANZ

NOME DOS ORIENTADORES:

Prof. Dra. Karin Goldberg

Prof. Dr. Juliano Kuchle

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

COMISSÃO DOS PROJETOS TEMÁTICOS:

Prof. Dra. Lidia Maria Vignol

Prof. Dr. Marcus Vinícius Dorneles Remus

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Porto Alegre, 2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Franz, Ana Paula

Análise Sismoestratigráfica da Seção Rifte da Bacia de Campos. / Ana Paula Franz. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2012.

[98 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação). - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Graduação em Geologia. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2012.

Orientador: Karin Goldberg

Coorientador: Juliano Kuchle

1. Rifte. 2. Bacia de Campos. 3. Sismoestratigrafia. 4. Evolução tectono-estratigráfica. I. Título.

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Alexandre Ribas Semeler CRB 10/1900

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001

Fone: +55 51 3308-6329

Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: biageo@ufrgs.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso “**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DA SEÇÃO RIFTE DA BACIA DE CAMPOS**”, elaborado por “ANA PAULA FRANZ”, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Prof. Dr. Claiton Marlon dos Santos Scherer

Prof. Dr. Eduardo Guimarães Barboza

*À minha família,
Minha base forte.
À minha mãe Susana,
Por tudo.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha Mãe, por todo o seu apoio, amor carinho, e compreensão, por sempre me incentivar a seguir em frente e não desistir nos primeiros obstáculos. Agradeço também ao meu pai por poder me proporcionar uma ótima educação e sempre estar ao meu lado. Em especial minha família (Mãe, Pai, Ani, Kinho), que sempre me apoiou em todos os momentos.

Agradeço à Universidade Federal do Rio Grande do Sul e ao Instituto de Geociências pela infraestrutura disponibilizada e pelo ensino de qualidade. Também à Agência Nacional do Petróleo (ANP) através do Programa de Recursos Humanos (convênio ANP- UFRGS/PRH-12), pela bolsa de graduação disponibilizada durante a realização deste trabalho. Agradeço à BG E&P Brasil por proporcionar a montagem do Laboratório de Sismoestratigrafia (SeisLab) com equipamentos necessários para a realização do projeto no qual o meu trabalho está inserido, e à Schlumberger do Brasil, que forneceu uma licença acadêmica do *software* Petrel.

Ao longo do curso existiram muitas pessoas que contribuíram para a realização deste projeto. Agradeço assim, a todos os professores do Instituto de Geociências que foram indispensáveis na minha formação. Um agradecimento especial ao professor Artur Cezar Bastos Neto, que foi meu primeiro orientador, me ajudando nas primeiras dificuldades, e a minha querida orientadora Karin Goldberg, que é um grande exemplo de mulher, pela sua competência e carinho que tem com todos, como também por me orientar e confiar em mim. Ao professor Juliano Kuchle, que me ajudou em toda a realização do trabalho e pela sua orientação. Ao professor Claiton Scherer que nos passou os conhecimentos básicos da Estratigrafia.

Por fim, agradeço a todos que estiveram presentes no meu caminho ao longo do curso, me apoiando e acreditando em mim. Os meus colegas de academia e aos colegas de bolsa (Amanda, Nati, Andrea, Marina, Rê, Manu, Olavo e Paty). Ao Carlinhos que sempre nos ajudou quando foi necessário.

*"Cada um tem de mim exatamente o que cativou,
e cada um é responsável pelo que cativou,
não suporto falsidade e mentira,
a verdade pode machucar, mas é sempre mais digna.
Bom mesmo é ir a luta com determinação,
abraçar a vida e viver com paixão.
Perder com classe e vencer com ousadia,
pois o triunfo pertence a quem mais se atreve
e a vida é muito para ser insignificante.
Eu faço e abuso da felicidade e não desisto dos meus sonhos.
O mundo está nas mãos daqueles que tem coragem de sonhar
e correr o risco de viver seus sonhos."
(CHARLIE CHAPLIN)*

RESUMO

A Bacia de Campos é a maior bacia petrolífera em termos de produção de hidrocarbonetos do Brasil. O presente projeto temático visa a compreensão da evolução inicial da Bacia de Campos. O objetivo foi compreender como ocorreu a abertura, desenvolvimento e preenchimento do rifte através da análise sismoestratigráfica. A seção rifte da Bacia de Campos (Formação Lagoa Feia) inclui a principal geradora da bacia, além de potenciais reservatórios de petróleo. Com base no modelo teórico de Kuchle & Scherer (2011) para bacias do tipo rifte, foi feita a interpretação em detalhe de seções sísmicas para obter um modelo evolutivo da área. Através da interpretação da terminação dos refletores o meio-gráben foi dividido em unidades sismoestratigráficas, onde foram individualizados três tratos de sistemas tectônicos: Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte e Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte. Esses tratos de sistemas tectônicos apresentam padrões de empilhamento específicos para cada parte do meio-gráben, e são individualizados por superfícies estratigráficas. Paralelamente foi feita a análise das fácies sísmicas, e com a integração de todos os dados foram construídos diagramas cronoestratigráficos (diagramas de Wheeler) de cada seção sísmica. O detalhamento da evolução inicial do meio-gráben, apesar de não ter expressão regional, servirá de base para a construção de modelos de evolução do rifte da Bacia de Campos, fundamentais para guiar os esforços exploratórios na seção rifte.

Palavras-chave: Rifte. Bacia de Campos. Sismoestratigrafia. Evolução tectono-estratigráfica.

ABSTRACT

The Campos Basin is the largest oilfield in terms of oil production in Brazil. This thematic project aims at understanding the initial evolution of the Campos Basin. The goal was to understand how the opening, development and filling of the rift happened through seismic stratigraphic analysis. The rift section in the Campos Basin (Lagoa Feia Formation) includes the main source rocks of the basin, as well as the potential petroleum reservoirs. Based on the theoretical model of Kuchle & Scherer (2011), the interpretation of the seismic sections in detail was carried out to obtain an evolutive model of the area. Through the interpretation of reflector terminations the Half-Graben was divided into seismic stratigraphic units, where three tectonic systems tracts were identified: Half-Graben Development Tectonic Systems Tract, Rift Climax Rift Tectonic Systems Tract and Final Rift Tectonic Systems Tract. These tectonic systems tracts display specific stacking patterns in each part of the Half-Graben, and they are limited by stratigraphic surfaces. Concomitantly an analysis of seismic facies was carried out, and with data integration chronostratigraphic (Wheeler) diagrams for each seismic section were constructed. The detailed understanding of the initial half-graben evolution, though lacking regional significance, will be the base for the construction of evolutionary models for the rift in the Campos Basin, fundamental to guide exploratory efforts in the rift section.

Keywords: Rift. Campos Basin. Seismic Stratigraphy. Tectonostratigraphic evolution.

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Mapa de localização da Bacia de Campos (Fonte: Modificado de Cainelli & Mohriak, 1998).</i>	16
<i>Figura 2. Bacia de Campos, limitada pelo Arco de Vitória e pelo Arco de Cabo Frio (Fonte: Modificado de Moraes, 1989).</i>	19
<i>Figura 3. Carta estratigráfica da Bacia de Campos. O retângulo vermelho indica a fase Rifte da Bacia de Campos. (Fonte: Winter et al., 2007).</i>	22
<i>Figura 4. Figura de localização da área estudada, mostrando em maior detalhe as linhas sísmicas 1, 2, 3 e 4, que foram interpretadas.</i>	28
<i>Figura 5. Esquema dos padrões de terminação de reflexões/estratos nos limites superior e inferior de uma sequência sísmica/sequência deposicional (Fonte: modificado Mitchum Jr. et al., 1977a).</i>	33
<i>Figura 6. Padrões de terminação de refletores dentro de uma sequência sísmica idealizada, ressaltando os padrões em offlap e a convergência interna (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Vail, 1987).</i>	35
<i>Figura 7. Representação de padrões de configurações de fácies sísmicas (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Mitchum Jr. et al., 1977a).</i>	37
<i>Figura 8. Geometrias externas de algumas unidades de fácies sísmicas (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Mitchum Jr. et al., 1977a).</i>	38
<i>Figura 9. Modelo idealizado de uma bacia rifte com seus Tratos Tectônicos e superfícies limítrofes (Fonte: Kuchle & Scherer, 2010).</i>	41
<i>Figura 10. Composição sísmica 2D que serviu de base para interpretação sismoestratigráfica na Linha Sísmica 1.</i>	51
<i>Figura 11. Interpretação completa dos refletores sísmicos e suas terminações na Linha Sísmica 1.</i>	52
<i>Figura 12. Divisão do Meio-Gráben em unidades sismoestratigráficas e representação das sismo fácies na Linha Sísmica 1.</i>	53
<i>Figura 13. Composição sísmica 2D que serviu de base para interpretação sismoestratigráfica na Linha Sísmica 2.</i>	57

<i>Figura 14. Interpretação completa dos refletores sísmicos e suas terminações na Linha Sísmica 2.</i>	<i>58</i>
<i>Figura 15. Divisão do Meio-Gráben em unidades sismoestratigráficas e representação das sismofácies na Linha Sísmica 2.</i>	<i>59</i>
<i>Figura 16. Composição sísmica 2D que serviu de base para interpretação sismoestratigráfica na Linha Sísmica 3..</i>	<i>63</i>
<i>Figura 17. Interpretação completa dos refletores sísmicos e suas terminações na Linha Sísmica 3.</i>	<i>64</i>
<i>Figura 18. Divisão do Meio-Gráben em unidades sismoestratigráficas e representação das sismofácies na Linha Sísmica 3.</i>	<i>65</i>
<i>Figura 19. Linha Sísmica 4 (2D) não interpretada mostrando onde as Linhas Sísmicas 1, 2 e 3 a cortam. A figura ilustra também as superfícies limítrofes (superfícies de desenv. Meio-gráben, Clímax de Rifte, Máximo Rifteamento e Discordância Pós-Rifte, (de baixo para cima, respectivamente) que separam o meio gráben em Tratos de Sistemas Tectônicos.</i>	<i>68</i>
<i>Figura 20. Representação das sismofácies identificadas na Linha Sísmica 4 a partir da comparação com as linhas 1, 2 e 3.....</i>	<i>69</i>
<i>Figura 21. Figura em detalhe das composições sísmicas, ilustrando feições específicas (padrões de refletores, estruturas internas do meio-gráben, tratos de sistemas e superfícies limítrofes) em maior detalhe, conforme discriminado no texto.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 22. Figura em detalhe das composições sísmicas, ilustrando feições específicas (padrões de refletores, estruturas internas do meio-gráben, tratos de sistemas e superfícies limítrofes) em maior detalhe, conforme discriminado no texto.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 23. Linha Sísmica 4 com suas principais fácies sísmicas. É possível observar o local onde ela é cortada pelas outras três linhas sísmicas (1, 2 e 3).....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 24. Figura ilustrando as unidades sismoestratigráficas componentes dos Tratos de Sistemas Tectônicos para cada Linha Sísmica e as superfícies que separam os referidos tratos.</i>	<i>81</i>

Figura 25. Diagrama cronoestratigráfico da Linha Sísmica 1, com seus sistemas deposicionais, divisão em unidades sismoestratigráficas, tratos de sistemas tectônicos e as superfícies limítrofes. Para visualização em maior detalhe, favor consultar Anexo 1. .. 82

Figura 26. Diagrama cronoestratigráfico da Linha Sísmica 2, com seus sistemas deposicionais, divisão em unidades sismoestratigráficas, tratos de sistemas tectônicos e as superfícies limítrofes. Para visualização em maior detalhe, favor consultar Anexo 2. .. 83

Figura 27. Diagrama cronoestratigráfico da Linha Sísmica 3, com seus sistemas deposicionais, divisão em unidades sismoestratigráficas, tratos de sistemas tectônicos e as superfícies limítrofes. Para visualização em maior detalhe, favor consultar Anexo 3. .. 84

Figura 28. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D. Ilustração da Superfície de desenvolvimento de Meio-Gráben..... 86

Figura 29. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D em outra perspectiva. Ilustração da Superfície de desenvolvimento de Meio-Gráben. 86

Figura 30. Visualização do modelo 3D da área de estudo em planta a partir das Superfícies de desenvolvimentos de Meio-Gráben das linhas sísmicas 2D. A flecha indica a direção da parte mais profunda do meio-gráben. 87

Figura 31. Discordância pós-rifte, marcando o topo do rifte no modelo 3D da área. 87

Figura 32. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D, mostrando onde a Linha Sísmica 2 corta o meio-gráben. 88

Figura 33. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D, mostrando o onde a Linha Sísmica 4 corta o meio-gráben..... 89

Figura 34. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D, mostrando o local onde as Linhas Sísmicas 1 e 4 estão se cruzando no meio-gráben em estudo. 90

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS	16
1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
2. GEOLOGIA REGIONAL.....	18
2.1. BACIA DE CAMPOS.....	18
2.2. FORMAÇÃO LAGOA FEIA.....	23
3. MÉTODOS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO	25
3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO.....	25
3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS E ORGANIZAÇÃO	25
3.3. ESTABELECIMENTO DE MODELOS CONCEITUAIS.....	26
3.4. INTERPRETAÇÕES SÍSMICAS	27
3.5. BASE DE DADOS NO PETREL	29
3.6. ADOBE ILLUSTRATOR.....	30
4. MODELO ESTRATIGRÁFICO CONCEITUAL.....	31
4.1. SISMOESTRATIGRAFIA	31
4.1.1. <i>REFLEXÕES SÍSMICAS.....</i>	<i>32</i>
4.1.2. <i>PADRÕES E TERMINAÇÕES DE REFLETORES.....</i>	<i>33</i>
4.1.3. <i>FÁCIES SÍSMICAS.....</i>	<i>35</i>
4.2. MODELO DE EVOLUÇÃO TECTONO ESTRATIGRÁFICO DE BACIAS RIFTE ..	39
4.2.1. <i>PARÂMETROS CONTROLADORES DE UMA BACIA RIFTE</i>	<i>42</i>
4.2.2. <i>TRATOS DE SISTEMAS TECTÔNICOS</i>	<i>43</i>
4.2.2.1. <i>Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte (TTIR)</i>	<i>43</i>
4.2.2.2. <i>Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben.</i>	<i>44</i>
4.2.2.3. <i>Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte (TTCR).....</i>	<i>45</i>

4.2.2.4. <i>Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte</i>	46
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1. LINHA SÍSMICA 1.....	48
5.2. LINHA SÍSMICA 2.....	54
5.3. LINHA SÍSMICA 3.....	60
5.4. LINHA SÍSMICA 4.....	66
5.5. MODELO INTEGRADO (MEIO-GRÁBEN)	70
5.6. UNIDADES SISMOESTRATIGRÁFICAS E DIAGRAMAS CRONOESTRATIGRÁFICOS.....	79
5.7. MODELO TRIDIMENSIONAL DA ÁREA DE ESTUDO.....	85
6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93
ANEXOS.....	98

1. INTRODUÇÃO

A Bacia de Campos é a maior província petrolífera do Brasil, responsável por mais de 80% da produção nacional de petróleo, além de possuir as maiores reservas provadas já identificadas e classificadas no Brasil (Winter *et al.*, 2007).

A evolução tectono-sedimentar da margem continental brasileira propiciou o desenvolvimento dos elementos-chave controladores do sistema petrolífero, cuja presença é requisito fundamental a que uma determinada região seja atrativa para a prospecção petrolífera. Merece destaque nesse particular o segmento de águas profundas da Bacia de Campos, que, na visão contemporânea, representa a porção mais bem repartida em termos de volumes descobertos de toda a margem brasileira.

De maneira geral, a geração de óleo na Bacia de Campos ocorreu a partir de folhelhos e margas da Fm. Lagoa Feia, de idade barremiana, pertencente à fase rifte. Estes sedimentos foram depositados em ambiente lacustre de água salobra a hipersalina, com incursões marinhas intermitentes no Barremiano Superior (Guardado *et al.*, 2000).

A Bacia de Campos localiza-se no litoral norte do Estado do Rio de Janeiro e sul do Estado do Espírito Santo, sendo limitada ao norte pelo Arco de Vitória e ao sul pelo Arco de Cabo Frio, totalizando uma área aproximada de 100.000 km² (Figura 1).

Com a melhoria da qualidade dos dados sísmicos, é possível visualizar melhor o preenchimento das calhas riftes da Bacia de Campos, contribuindo para a compreensão da evolução inicial da Bacia de Campos, onde se formaram rochas geradoras e potenciais reservatórios de petróleo. Os modelos estratigráficos

também passaram por avanços consideráveis nos últimos 30 anos, principalmente com o advento da estratigrafia de seqüências nos anos 80 e 90, e sua adaptabilidade para diversos tipos de bacias nos anos 90 e 2000, o que proporcionou uma aplicabilidade plena em bacias do tipo rifte.



Figura 1. Mapa de localização da Bacia de Campos (Fonte: Modificado de Cainelli & Mohriak, 1998).

1.1. OBJETIVOS GERAIS E ESPECÍFICOS

O objetivo principal do projeto é obter um estudo detalhado da evolução estrutural e estratigráfica de um dos meio-grábens componentes do rifte da Bacia de Campos, com a definição de seu arcabouço sismoestratigráfico, geometria dos depósitos e padrão de preenchimento, para entender os processos envolvidos no

estágio inicial de rifteamento que controlam o preenchimento das calhas riftes e a geração de rochas geradoras e potenciais reservatórios na Bacia de Campos.

Como objetivos específicos, pode-se apontar:

- Interpretação em detalhe dos refletores sísmicos em três linhas sísmicas;
- Reconhecimento das unidades sismoestratigráficas e suas variáveis controladoras;
- Determinação dos padrões de empilhamento das unidades sismoestratigráficas;
- Divisão do meio-gráben em tratos de sistemas e suas superfícies limítrofes, conforme o modelo de Kuchle & Scherer (2011);
- Elaboração de um diagrama cronoestratigráfico das linhas sísmicas;
- Desenvolvimento de um modelo sismoestratigráfico do meio-gráben encontrado na área de estudo.

1.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O foco do estudo deste Projeto Temático localiza-se na área plataformal da Bacia de Campos, situada ao longo do litoral do Rio de Janeiro e Espírito Santo, Brasil, ocupando uma área de aproximadamente 100.000 km² até a cota batimétrica de 3.400m. Esta bacia é limitada ao sul pela a Bacia de Santos, e ao norte, pela Bacia do Espírito Santo (Winter *et. al.*, 2007) (Figura 1). Em terra a mesma compreende os municípios de São João da Barra, Quissamã, Carapebus, norte de Macaé-RJ, além da região sul do Estado do Espírito Santo. A área de estudo foi analisada através de dados sísmicos e de poços exploratórios de hidrocarbonetos.

2. GEOLOGIA REGIONAL

2.1. BACIA DE CAMPOS

A Bacia de Campos estende-se desde Cabo Frio, litoral do Estado do Rio de Janeiro, até o sul do Estado do Espírito Santo, entre os paralelos 21^o e 23^o Sul. Limita-se a norte com a Bacia do Espírito Santo, por uma elevação do embasamento denominada Alto de Vitória, e a sul com a Bacia de Santos, estando separadas pelo Alto de Cabo Frio (Figura 2).

A origem da Bacia de Campos está associada à quebra do Continente Gondwana e à abertura do Oceano Atlântico Sul. Sua evolução tectônica e estratigráfica foi estudada por vários autores, entre eles Ponte & Asmus (1978), Figueiredo & Mohriak (1984), Chang *et al.* (1988), Dias *et al.* (1990), Guardado *et al.* (1990), Martins *et al.* (1990), Bruhn (1998), Rangel & Martins (1998). A história da formação da Bacia de Campos pode ser representada por cinco megasequências: continental rifte, evaporítica transicional, carbonática de plataforma rasa, marinha transgressiva e marinha regressiva (Chang *et al.*, 1988). A megasequência continental rifte começou a ser depositada no Neocomiano. No início do rifteamento houve intensa atividade vulcânica com extrusão de lavas basálticas, que constituem a Formação Cabiúnas (Figura 3), (Ponte & Asmus, 1978). A continuação do processo de esforços distensivos produziu um sistema de grábens e horsts alongados na direção SW-NE, mostrando uma coincidência com as direções de lineamentos do embasamento. Ao longo desses *rift valleys*, formados do Barremiano a Aptiano, desenvolveu-se uma sedimentação lacustre, lateralmente associada a sedimentos aluviais, que seria a porção inferior da Formação Lagoa Feia (Figura 3).

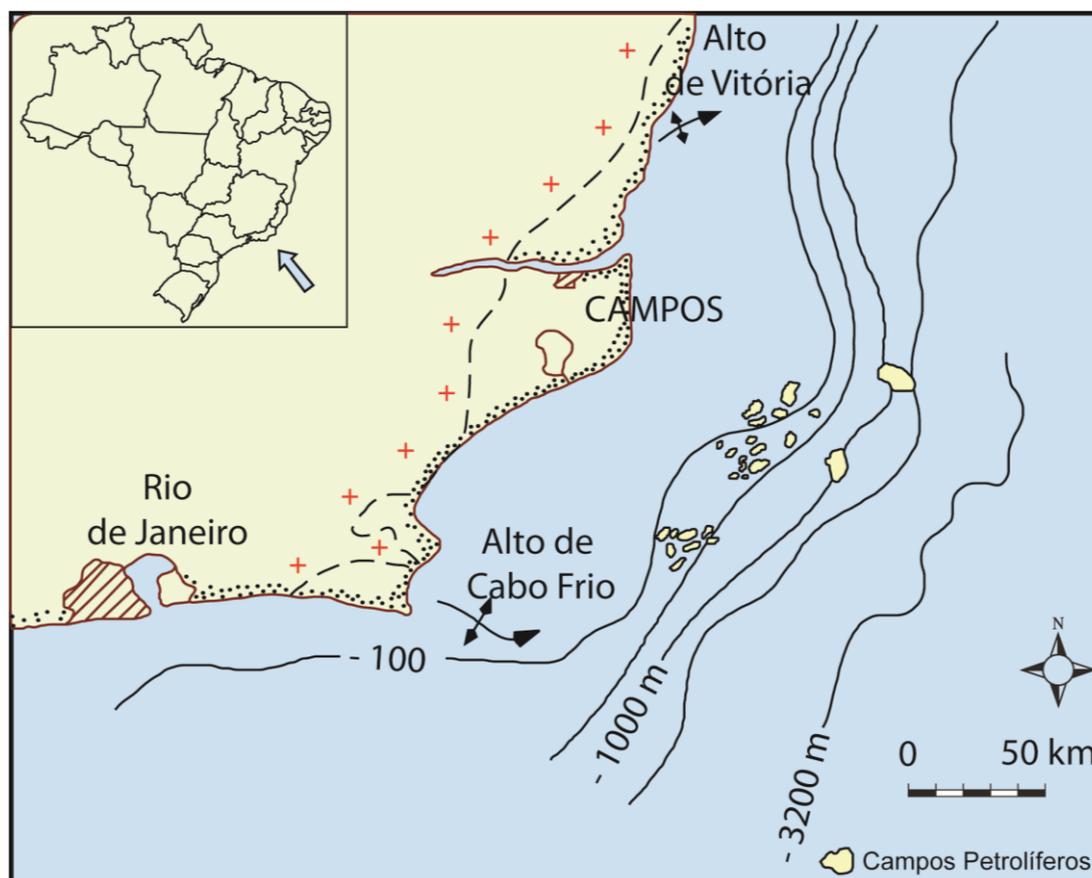


Figura 2. Bacia de Campos, limitada pelo Arco de Vitória e pelo Arco de Cabo Frio (Fonte: Modificado de Moraes, 1989).

Em seguida, sucedeu-se uma fase transicional com sedimentação siliciclástica e evaporítica que persistiu até o final do Aptiano. A sedimentação começou com um ambiente continental (leques aluviais), passando a marinho restrito (evaporitos) sob condições climáticas áridas e semi-áridas, correspondendo à porção superior da Formação Lagoa Feia (Figura 3).

Segundo Guardado *et. al.* (2000), a Formação Lagoa Feia consiste em sedimentos depositados durante a formação do rifte da Bacia de Campos, variando de 200 m para mais de 1.500 m de espessura. Os campos de petróleo descobertos encontram-se de 80 m para mais de 2.600 m de profundidade. A abundância de petróleo nessa bacia dá-se devido à conjunção dos elementos necessários à formação de um sistema petrolífero: a presença de rochas geradoras (folhelhos da Fm. Lagoa Feia), de rotas de migração do óleo (utilizando as falhas da seção rifte), de excelentes reservatórios (carbonatos do sag e turbiditos da seção marinha

transgressiva e regressiva), de trapas eficazes (trapas estratigráficas, estruturais e mistas relacionadas aos turbiditos, principalmente gerados por estruturas halocinéticas), de selos (sal e os folhelhos marinhos que recobrem os turbiditos) e o tempo necessário para a formação das trapas e migração de petróleo. A Formação Lagoa Feia possui a principal rocha geradora de óleo da bacia nos folhelhos lacustres da fase rifte.

Após o evento de rifteamento, e a abertura efetiva do Oceano Atlântico Sul, ocorreu o afastamento das placas Sul-americana e Africana, e a formação de uma rampa carbonática-clástica, sob clima quente e seco. Esta sedimentação desenvolveu-se durante o Albiano, acompanhando uma elevação eustática do nível do mar e é representada pela porção inferior da Formação Macaé (Figura 3). Nesta época começou a movimentação do sal depositado na fase anterior (halocinese), causada pelo basculamento progressivo da bacia para leste devido à subsidência térmica e à sobrecarga de sedimentos. Esta tectônica adiastrófica, com falhas lítricas, estruturas dômicas e almofadas de sal, controlou a distribuição das fácies da megasequência carbonática de plataforma rasa, bem como continuou a modular o estilo estrutural das megasequências posteriores (Figueiredo & Mohriak, 1984).

A deposição da megasequência marinha transgressiva ocorreu do Neoalbiano ao Neopaleoceno, com os carbonatos de plataforma rasa dando lugar a calcilitos, margas e folhelhos de ambiente cada vez mais profundo. Estas litologias correspondem à porção superior da Formação Macaé e à porção basal do Grupo Campos (Figura 3). Nos baixos gerados pela movimentação halocinética depositaram-se turbiditos (Gr. Campos/ Fm. Carapebus), intercalados a folhelhos e margas (Gr. Campos/ Fm. Ubatuba). Na porção superior da megasequência, esta movimentação diminuiu, mas ainda produziu calhas deposicionais onde se acumularam turbiditos (Dias *et al.*, 1990), como as areias dos reservatórios do Campo de Jubarte. A sedimentação da megasequência marinha transgressiva foi uma resposta ao efeito combinado da subsidência térmica mais a tendência de subida eustática de primeira ordem do nível do mar, além do baixo aporte de sedimentos (Bruhn, 1998).

A megasequência marinha regressiva (Neopaleoceno ao Recente) caracteriza-se por um conjunto de sedimentos clásticos progradantes, e



compreende sistemas deposicionais desde leques costeiros e plataformas carbonáticas (Formação Emborê) a ambiente de talude e bacia profunda (Formação Ubatuba). Esta mudança no estilo sedimentar em relação à megasequência subjacente foi influenciada pela queda eustática de primeira ordem do nível do mar, aliada à baixa taxa de subsidência térmica e ao aumento do aporte sedimentar devido ao soerguimento da Serra do Mar durante o Terciário. A tectônica halocinética persistiu, gerando áreas rebaixadas que captaram sedimentos turbidíticos. Grandes sistemas turbidíticos estão presentes nesta megasequência e constituem importantes reservatórios de petróleo (Figueiredo & Mohriak, 1984; Guardado *et al.*, 1990; Martins *et al.*, 1990, Bruhn, 1998).

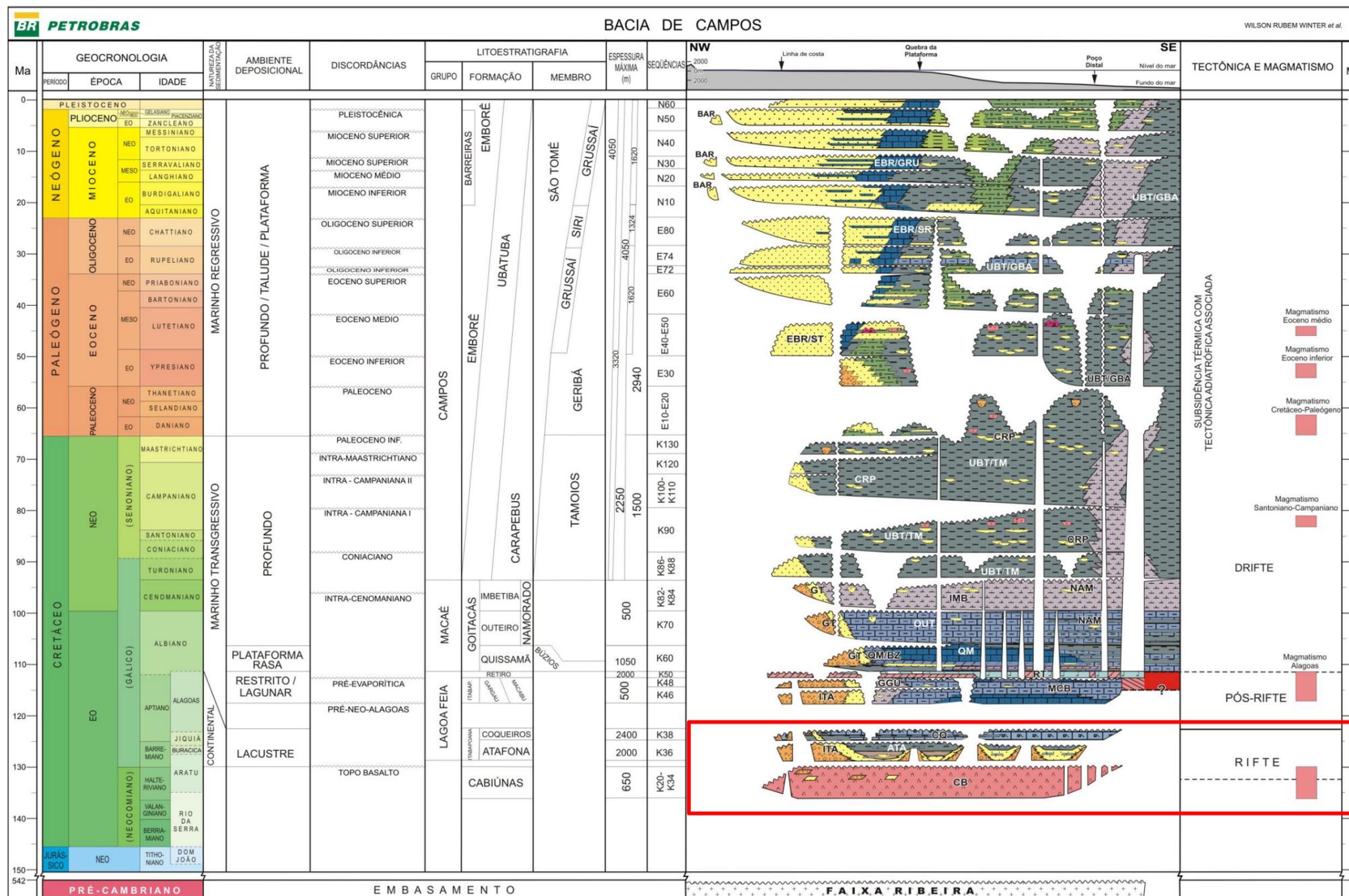


Figura 3. Carta estratigráfica da Bacia de Campos. O retângulo vermelho indica a fase Rifte da Bacia de Campos. (Fonte: Winter *et al.*, 2007).

2.2. FORMAÇÃO LAGOA FEIA

A Formação Lagoa Feia, principal geradora de petróleo na bacia e objeto do presente estudo, encontra-se na fase rifte da Bacia de Campos. Foi interpretada como inicialmente lacustre continental, com sedimentos siliciclásticos de granulometria fina a grossa e carbonatos que recobrem os fluxos de basalto, cobertos por evaporitos do Cretáceo inferior (Schaller, 1973). Pequenos diques basálticos e rochas vulcanoclásticas básicas na parte basal da seção indicam que, durante os estágios iniciais de deposição, a atividade vulcânica foi contemporânea com a sedimentação (Bertani, 1984).

O pacote rifte da porção inferior da Formação Lagoa Feia na Bacia de Campos abrange o intervalo Neocomiano Superior até o Barremiano, recobrimdo e localmente intergitando-se com os basaltos e rochas vulcanoclásticas da Formação Cabiúnas, datadas entre 130 e 120 Ma (Dias *et al.*, 1990). A porção inferior da Formação Lagoa Feia possui conglomerados com abundantes clastos de basalto que formam grandes leques ao longo das falhas de borda. Além disso, esta possui arenitos, folhelhos ricos em matéria orgânica e coquinas, caracterizando um ambiente de sedimentação lacustre. As coquinas constituem-se em depósitos de carapaças de pelecípodes (Membro Coqueiros) associadas a altos estruturais e representando uma fácies particularmente porosa nesta bacia. Elas podem alcançar até 400 m de espessura. Os pacotes de coquinas porosas foram depositados em ambiente de alta energia e se constituem em reservatórios produtores de petróleo.

O Membro Coqueiros é facilmente reconhecido em sísmica, pois a intercalação de folhelhos de baixa densidade, ricos em matéria orgânica, com carbonatos de alta densidade estabelece uma sismofácies característica (Milani *et al.*, 2001).

A parte superior da Formação Lagoa Feia limita-se na base por uma discordância, e é composta por uma seqüência de conglomerados e folhelhos avermelhados, de idade aptiana, recobertos por uma seção de

evaporitos do Neoptiano (Membro Retiro). O pacote mais antigo (Aptiano) é limitado por uma zona de falha sintética de orientação geral SW-NE que se desenvolve paralela e próxima à linha de costa.

3. MÉTODOS E ESTRATÉGIAS DE AÇÃO

Para atingir os objetivos propostos neste trabalho, foram adotados os procedimentos metodológicos descritos abaixo.

3.1. LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

O levantamento bibliográfico foi executado durante todas as etapas de realização do projeto. Inicialmente foi realizada uma revisão bibliográfica com trabalhos, livros e artigos sobre a área de estudo, bacias riftes e sismoestratigrafia, assim obtendo um conhecimento inicial necessário para a realização do projeto.

3.2. AQUISIÇÃO DE DADOS E ORGANIZAÇÃO

Os dados utilizados nesse projeto foram fornecidos no âmbito do projeto “Estudo integrado (estratigráfico – sedimentológico – petrológico) da seção rifte das Bacias de Campos e Santos”, que está sendo desenvolvido pelo grupo de pesquisa no qual a aluna se integra, para a BG E&P Brasil. Estes dados consistem em linhas sísmicas regionais 2D da Bacia de Campos.

Os dados fornecidos foram carregados, organizados e disponibilizados no servidor do projeto citado acima.

3.3. ESTABELECIMENTO DE MODELOS CONCEITUAIS

A grande maioria dos modelos baseados na estratigrafia de seqüências foram elaborados para bacias de margem passiva (e.g., Posamentier *et al.*, 1988; Van Wagoner *et al.*, 1990). As bacias do tipo rifte apresentam uma evolução tectônica muito distinta das bacias de margem passiva, visto que o principal controlador na formação de riftes é a tectônica. Portanto quando bacias riftes são avaliadas, é preciso levar em conta não só a evolução estratigráfica como também a evolução estrutural.

Com o intuito de compreender melhor a evolução de bacias riftes, vários modelos tectono-estratigráficos foram propostos. Entre eles, destaca-se Bosence (1998), que estabelece um modelo para bacias rifte através do reconhecimento de discordâncias (Discordância Pré-Rifte e Discordância Pós-Rifte), que separam o meio-gráben em três estágios: sin-rifte inicial, sin-rifte médio e sin-rifte final. Prosser (1993) apresenta a divisão de um meio-gráben em Tratos de Sistemas Tectônicos (Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte, Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte, e Trato de Sistemas Tectônico de Pós-Rifte). Gawthorpe & Leeder (2000) enfocaram principalmente a parte estrutural de bacias riftes. Morley (2002) abordou a parte estrutural e o controle que as falhas exercem sobre a sedimentação em uma bacia. Por fim, Martins-Neto & Catuneanu (2010) propuseram a evolução de bacias rifte com um foco essencialmente estratigráfico. Com base nesses modelos da literatura sobre riftes, Kuchle & Scherer (2010) desenvolveram e adaptaram um novo modelo teórico da evolução de bacias rifte, baseado em controles tectono-estratigráficos. O modelo criado por eles propõe a evolução de bacias riftes através da divisão de um meio-gráben em Tratos de Sistemas Tectônicos. Segundo o modelo de Kuchle & Scherer (2010), a fase rifte se divide em quatro Tratos de Sistemas Tectônicos: Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte, Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte e Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte. O modelo de

Kuchle & Scherer (2010) serviu de base para o desenvolvimento desta monografia.

3.4. INTERPRETAÇÕES SÍSMICAS

Após a obtenção, carregamento e organização de todos os dados fornecidos, foi escolhida uma área-chave da Bacia de Campos para a análise sismoestratigráfica (Figura 4). Essa área é composta por 40 linhas sísmicas 2D, com linhas *dip* e *strike*. Dentre as linhas sísmicas 2D que compõem a área, foram selecionadas três linhas *dip* e uma *strike* (que corta perpendicularmente as linhas *dip*) nomeadas de Linha Sísmica 1, Linha Sísmica 2, Linha Sísmica 3 e Linha Sísmica 4 (*strike*) (Figura 4). Cada linha sísmica foi analisada individualmente, efetuando a interpretação detalhada dos refletores sísmicos de cada seção, com a separação em unidades sísmicas e em sismofácies, para assim construir um diagrama cronoestratigráfico de cada seção e obter uma interpretação detalhada da área.

Na área em estudo observa-se que a Linha Sísmica 1 encontra-se mais ao norte, a Linha Sísmica 3 mais ao sul, e a Linha Sísmica 2 encontra-se entre as Linhas Sísmicas 1 e 3, conforme observado na Figura 4. Já a Linha Sísmica 4 (*strike*) corta perpendicularmente as outras três linhas sísmicas (Figura 4).

O método utilizado nas interpretações sismoestratigráficas constou de: cada seção sísmica era primeiramente analisada individualmente, pois a sedimentação e os processos controladores na formação de um meio-gráben ocorrem diferentemente dentro dele, como também em tempo distinto, sendo assim imprescindível a análise individual de cada seção sísmica antes das mesmas serem correlacionadas. Foram delimitados o topo e a base desse meio-gráben em todas as seções, utilizando como principais parâmetros o comportamento dos refletores sísmicos. Abaixo da superfície da base os refletores perdem o sinal sísmico, não sendo possível sua análise. Com base na bibliografia pode-se inferir que o intervalo basal é compreendido por basaltos da Formação Cabiúnas. No topo foi delimitado o

limite próximo às camadas de evaporitos, onde os refletores sísmicos mudam completamente de comportamento, indicando a fase pós-rifte.

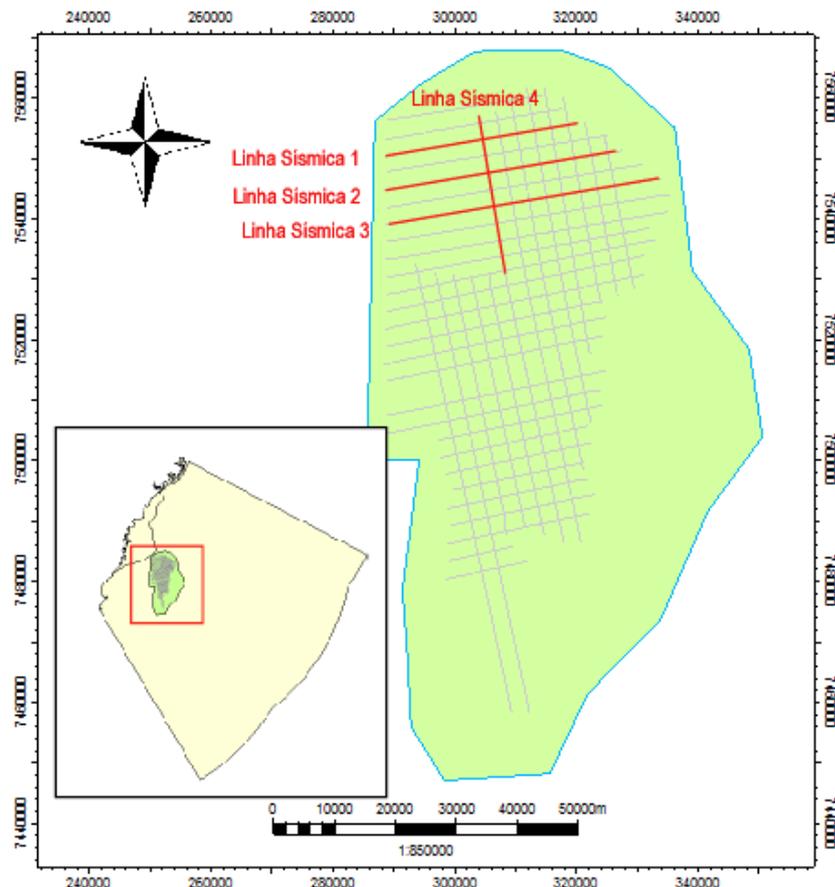


Figura 4. Figura de localização da área estudada, mostrando em maior detalhe as linhas sísmicas 1, 2, 3 e 4, que foram interpretadas.

A partir disso, foi feita a interpretação de cada refletor sísmico, marcando suas terminações. Com os refletores todos interpretados, a seção foi dividida em unidades sismoestratigráficas, que são um conjunto de estratos cronoestratigraficamente relacionados, limitados no topo e na base por terminações de refletores (*sensu* Brown & Fischer, 1977). A superfície que tem o maior número de refletores terminando contra ela foi usada como limite da unidade sismoestratigráfica. Esta superfície pode indicar uma discordância ou então eventos deposicionais ocorridos ao mesmo tempo ou próximos. Cada linha sísmica interpretada foi dividida em diferentes

unidades sísmicas, sem equivalência numérica direta, ou seja, a quantidade de unidades sismoestratigráficas varia para cada linha sísmica. Entretanto, é possível estabelecer a correlação entre as linhas sísmicas a partir dos padrões de empilhamento. Estas unidades sismoestratigráficas são compostas por conjuntos de sistemas deposicionais geneticamente relacionados e dispostos lateralmente. Através da separação do meio-gráben em unidades sismoestratigráficas, é possível saber em que contexto paleogeomorfológico a unidade foi depositada. A disposição espacial dessas unidades indica como os sistemas deposicionais se relacionam entre si, bem como quando ocorre a expansão e recuo dos sistemas, baseado em eventos de criação ou destruição de espaço de acomodação, ou de maior ou menor intensidade no aporte sedimentar.

Juntamente com a interpretação dos refletores sísmicos e a divisão em unidades sismoestratigráficas, as seções foram divididas em sismofácies, para estabelecer os padrões de preenchimento da bacia e o arcabouço estratigráfico para a calha rifte estudada, caracterizando seus sistemas deposicionais.

Por fim, foi feito o ordenamento temporal destas unidades sismoestratigráficas em cada seção sísmica, montando uma carta cronoestratigráfica, estabelecendo assim um diagrama temporal. Porém como não foi feita datação radiométrica e bioestratigráfica neste trabalho, não foi possível obter uma idade absoluta das unidades sismoestratigráficas interpretadas nas seções analisadas.

Com estas interpretações foi possível montar um modelo sismoestratigráfico do meio-gráben estudado, que na área de estudo encontra-se alongado segundo uma direção NE-SW.

3.5. BASE DE DADOS NO PETREL

Para a interpretação das linhas sísmicas e integração de dados, foi utilizado o software Petrel (Schlumberger). Nele foram delimitadas as superfícies limítrofes do meio-gráben nas linhas *dip*, e com isso, obteve-se

uma idéia de posicionamento delas na linha *strike* (Linha Sísmica 3). O modelo tridimensional foi gerado a partir do cruzamento das linhas *dip* com a *strike*.

Após essas interpretações e com base no modelo tectono-estratigráfico de Kuchle & Scherer (2010), foi possível dividir as unidades sismoestratigráficas de cada seção sísmica em Tratos de Sistemas Tectônicos, que são conjunto de sistemas deposicionais temporalmente relacionados. Estes tratos de sistemas tectônicos estão vinculados a uma um conjunto específico de variáveis em um período também específico da fase rifte, conforme o conceito de tratos de sistemas de Brown & Fischer (1977).

A interpretação sismoestratigráfica após o estabelecimento dos tratos de sistemas, padrões de empilhamento, delimitação das superfícies limítrofes e cruzamento dos dados nas quatro linhas sísmicas mapeadas, segue para o mapeamento sistemático de todo o dado disponível (todo o levantamento apresentado na figura 4). Desta forma, o mapeamento sistemático ao longo de dezenas (ou até centenas) de linhas sísmicas, baseia-se em interpretações bem detalhadas e bem embasadas em uma porção inicial de dados, que se estende para todo o modelo.

Através da integração de dados foi proposto um modelo geológico da área estudada.

3.6. ADOBE ILLUSTRATOR

O software Adobe Illustrator foi utilizado exclusivamente na composição gráfica das seções sísmicas que compõem o meio-gráben em estudo, para melhor representá-las de maneira mais organizada.

4. MODELO ESTRATIGRÁFICO CONCEITUAL

4.1. SISMOESTRATIGRAFIA

A sismoestratigrafia é utilizada na interpretação de dados sísmicos, permitindo uma melhor compreensão da evolução tectono-sedimentar de uma bacia sedimentar. Essa ferramenta foi desenvolvida inicialmente para o contexto de margem continental passiva, mas sua aplicabilidade tem sido utilizada no mapeamento de sequências depositadas em vários contextos, entre eles, *sags* intracontinentais, bacias rifte, bacias *foreland*. Através dela obtemos a reconstrução da história de preenchimento, da tectônica deformadora da bacia, identificamos discordâncias e podemos definir as sequências deposicionais. A evolução das técnicas de aquisição e processamento sísmico e o melhoramento na resolução dos dados sísmicos levou a uma melhor visibilidade dos detalhes das feições deposicionais estratigráficas e, assim, à possibilidade de elaborar cartas cronoestratigráficas mais confiáveis das bacias sedimentares.

A sismoestratigrafia tem importância fundamental na exploração de hidrocarbonetos. Através dela, avaliamos o ambiente tectônico e os ambientes deposicionais da bacia sedimentar, identificamos os traps estratigráficos e/ou estruturais presentes nas rochas reservatórios, estimamos a quantidade e a natureza dos fluidos em reservatórios individuais, e obtemos o desenvolvimento de uma estratégia para o planejamento do furo de sondagem. Com isso, melhorando significativamente a gestão de risco na exploração de petróleo.

4.1.1. REFLEXÕES SÍSMICAS

As reflexões sísmicas são o registro do tempo de percurso (ida e volta) de ondas sísmicas geradas artificialmente na superfície e refletidas em interfaces físicas das rochas. Essas interfaces demarcam o contraste de impedância acústica entre dois pacotes rochosos contíguos. A impedância acústica define-se como o produto da velocidade sísmica de um intervalo de rochas pela sua densidade.

A impedância acústica nem sempre é um fiel indicador de litologias e, por isso, as reflexões sísmicas não correspondem necessariamente aos contatos litológicos, sendo, muitas vezes, gradacionais os contatos entre diferentes litologias, o que mascara uma interface nítida entre diferentes litologias. Sendo assim, nem sempre as reflexões sísmicas apresentam correspondência com os limites litoestratigráficos formais (Formação, Membro, etc.), já que essas unidades são definidas baseadas nas variações litológicas.

Conforme Vail *et al.* (1977b) as interfaces causadoras das reflexões entre dois pacotes de estratos com contraste de velocidade-densidade são as discordâncias e as superfícies estratais.

As discordâncias são superfícies de erosão ou não-deposição, ou seja, possuem ausência física de um intervalo cronoestratigráfico significativo. Apesar das discordâncias não constituírem uma superfície síncrona, são importantes cronoestratigraficamente, pois delimitam estratos mais jovens acima delas de camadas mais antigas abaixo.

As superfícies estratais correspondem aos níveis de acamadamento representando antigas superfícies deposicionais. Quase sempre as superfícies são síncronas em sua extensão, podendo haver pequenas variações temporais, porém não sendo significativas na escala de tempo geológico.

Sendo assim, o reconhecimento e mapeamento das superfícies estratais e das discordâncias são fundamentais na elaboração do arcabouço

cronoestratigráfico de uma bacia sedimentar, ainda mais quando se propõe a subdividi-la em seqüências deposicionais.

4.1.2. PADRÕES E TERMINAÇÕES DE REFLETORES

Uma seqüência sísmica é uma sucessão de refletores concordantes entre si em uma seção sísmica, separados no topo e na base por superfícies de discontinuidades, que são caracterizados por um refletor de maior amplitude (Mitchum Jr. *et al.*, 1977b). Assim, a seqüência sísmica é limitada pelas relações de terminação dos refletores, que seriam concordantes ou discordantes em relação aos limites da seqüência.

Segundo Emery & Myers (1996), na moderna Estratigrafia Sequências, os padrões de terminação de refletores indicam superfícies que vão delimitar unidades sísmicas, que são interpretadas como os tratos de sistemas deposicionais.

As terminações de refletores são os principais critérios para o reconhecimento dos limites de seqüência sísmica. Nas interpretações sismoestratigráficas os principais padrões de terminação de refletores utilizados são: *onlap*, *downlap*, *toplap*, truncamento e a concordância ou conformidade (Figura 5).

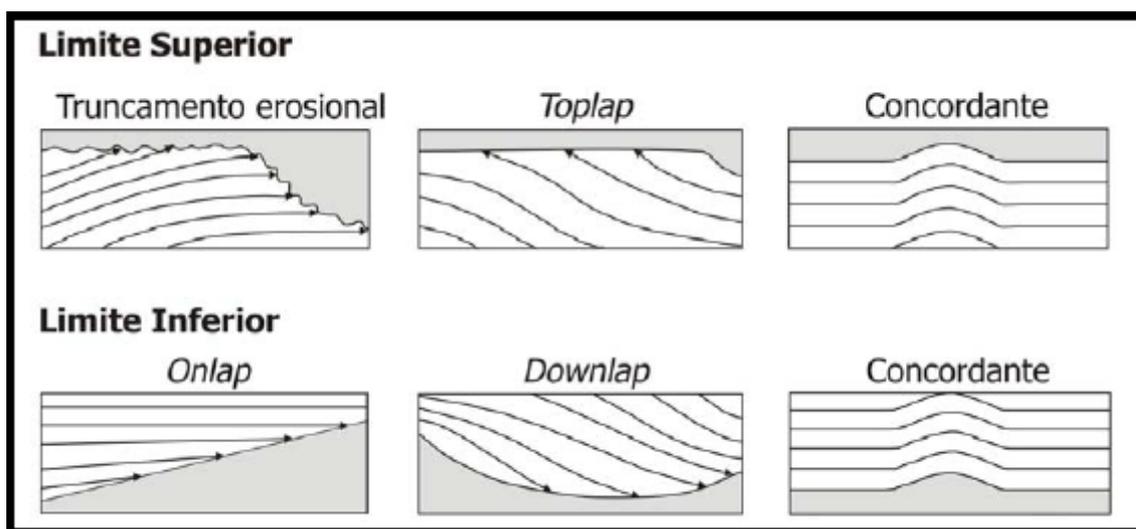


Figura 5. Esquema dos padrões de terminação de reflexões/estratos nos limites superior e inferior de uma seqüência sísmica/seqüência deposicional (Fonte: modificado Mitchum Jr. *et al.*, 1977a).

Onlap – ocorre quando um refletor/estrato, inicialmente horizontal, termina deposicionalmente contra uma superfície inicialmente inclinada, ou quando um refletor/estrato com uma certa inclinação termina deposicionalmente mergulho acima contra uma superfície de maior inclinação.

Downlap – ocorre quando um refletor/estrato, inicialmente inclinado, termina mergulhando contra uma superfície originalmente horizontal ou inclinada.

Toplap – os refletores/estratos terminam em contato com o limite superior, ou topo da sequência. Ele evidencia um hiato não-deposicional e ocorre quando o espaço de acomodação criado é preenchido, gerando uma zona de passagem de sedimentos para porções mais profundas da bacia, sem erosão significativa.

Truncamento erosivo – os refletores/estratos terminam lateralmente por terem sido separadas de seu limite deposicional original, podendo ser erosional ou estrutural. Esta terminação indica que depósitos de uma unidade sofreram erosão e uma porção deles foi removida, sendo redepositada em outra parte da bacia. Comumente, é associado à exposição subaérea e é um diagnóstico de uma discordância e limite de sequências deposicionais.

Concordância ou conformidade – é quando os refletores/estratos de duas unidades sísmicas ou sequências adjacentes se apresentam paralelas com a superfície que as delimitam. Comumente ocorre dentro de uma unidade sísmica ou sequência, mas pode também ocorrer no topo ou base, sendo assim uma conformidade correlata.

Além dessas relações, temos o *offlap* (Figura 6), que é um padrão não-sistemático de terminação dos refletores, em *onlap/toplap* mergulho acima e *downlap* mergulho abaixo, dentro de uma unidade sísmica ou sequência. O *offlap* é utilizado pelos intérpretes sísmicos para designar o padrão de reflexão progradante dentro de uma bacia.

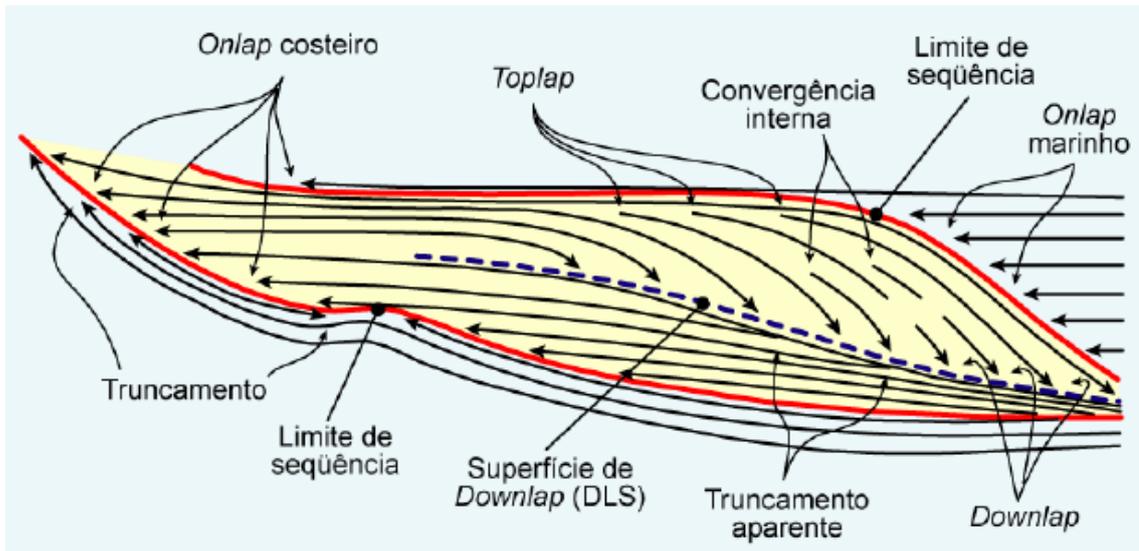


Figura 6. Padrões de terminação de refletores dentro de uma seqüência sísmica idealizada, ressaltando os padrões em offlap e a convergência interna (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Vail, 1987).

4.1.3. FÁCIES SÍSMICAS

Brown Jr. & Fisher (1980) definem fácies sísmicas como uma unidade tridimensional, com uma área definida, constituída por reflexões sísmicas cujos parâmetros inerentes diferem das fácies adjacentes. Uma fácies sísmica é o registro nas reflexões sísmicas dos fatores geológicos que as geram, tais como: tipo de litologia, estratificação, feições deposicionais, etc.

A análise de fácies sísmicas é feita através da interpretação geológica e descrição dos parâmetros de reflexão sísmicas, sendo eles a continuidade, configuração, amplitude, frequência e a velocidade intervalar (Mitchum Jr. *et al.*, 1977a).

A continuidade das reflexões está associada com a continuidade deposicional dos estratos, indicando depósitos amplamente distribuídos e uniformemente estratificados. A frequência pode estar relacionada com vários fatores geológicos, tais como o espaçamento das interfaces refletoras, variação lateral na velocidade intervalar e ocorrência de hidrocarbonetos. A amplitude está associada com as variações litológicas dos estratos, assim a diferença na amplitude indica diferentes tipos de estratos.

A configuração interna das reflexões é o parâmetro de fácies sísmicas mais utilizado, e o que melhor a caracteriza. As configurações paralelas/subparalelas (Figura 7A) indicam uma taxa de deposição constante dos estratos sobre uma superfície estável ou uniformemente subsidente. Já a configuração divergente (Figura 7B), pode indicar uma variação em área na taxa de deposição, inclinação progressiva do substrato por controle tectônico ou de ambos fatores em conjunto.

As geometrias estratais estão associadas aos tipos de relações entre os fatores deposicionais. Da mesma forma, as fácies sísmicas, através do reconhecimento dos padrões de reflexões sísmicas e suas interrelações dentro das unidades sísmicas ou seqüências, possibilitam inferir seu posicionamento dentro de uma seqüência (Embry, 2007). As configurações progradantes são estratos depositados em superfícies inclinadas, em que a sua superposição lateral gera clinofomas, que podem ser oblíquas (paralelas e tangenciais), sigmoidais, complexo sigmoidal-oblíquas e *shingled* (Figura 7C).

A configuração oblíqua indica um grande suprimento sedimentar, com uma alta energia de deposição, baixa taxa de subsidência ou ausência da mesma e nível do mar estacionário. Por outro lado, as clinofomas sigmoidais sugerem um baixo suprimento sedimentar, taxa de subsidência contínua ou subida do nível relativo do mar, e geralmente um ambiente de baixa energia de deposição. O complexo sigmoidal-oblíquo surge em uma situação intermediária entre os padrões de configuração oblíqua e sigmoidal. Por fim, a configuração *shingled* é um padrão progradante de pequena espessura, com refletores internos mergulhando suavemente, normalmente associada à deposição em águas rasas.

A configuração caótica apresenta reflexões discordantes e descontínuas, podendo indicar ambiente de alta energia ou deformações pré ou pós-deposicionais (falhas, estratos dobrados, estruturas de escorregamentos).

A configuração *hummocky* é formada por refletores pequenos, irregulares, sem continuidade, subparalelos, formando um padrão

segmentado com terminações não-sistemáticas. Esta sismofácies indica fluxos gravitacionais em sistemas deltaicos ou de leques submarinos.

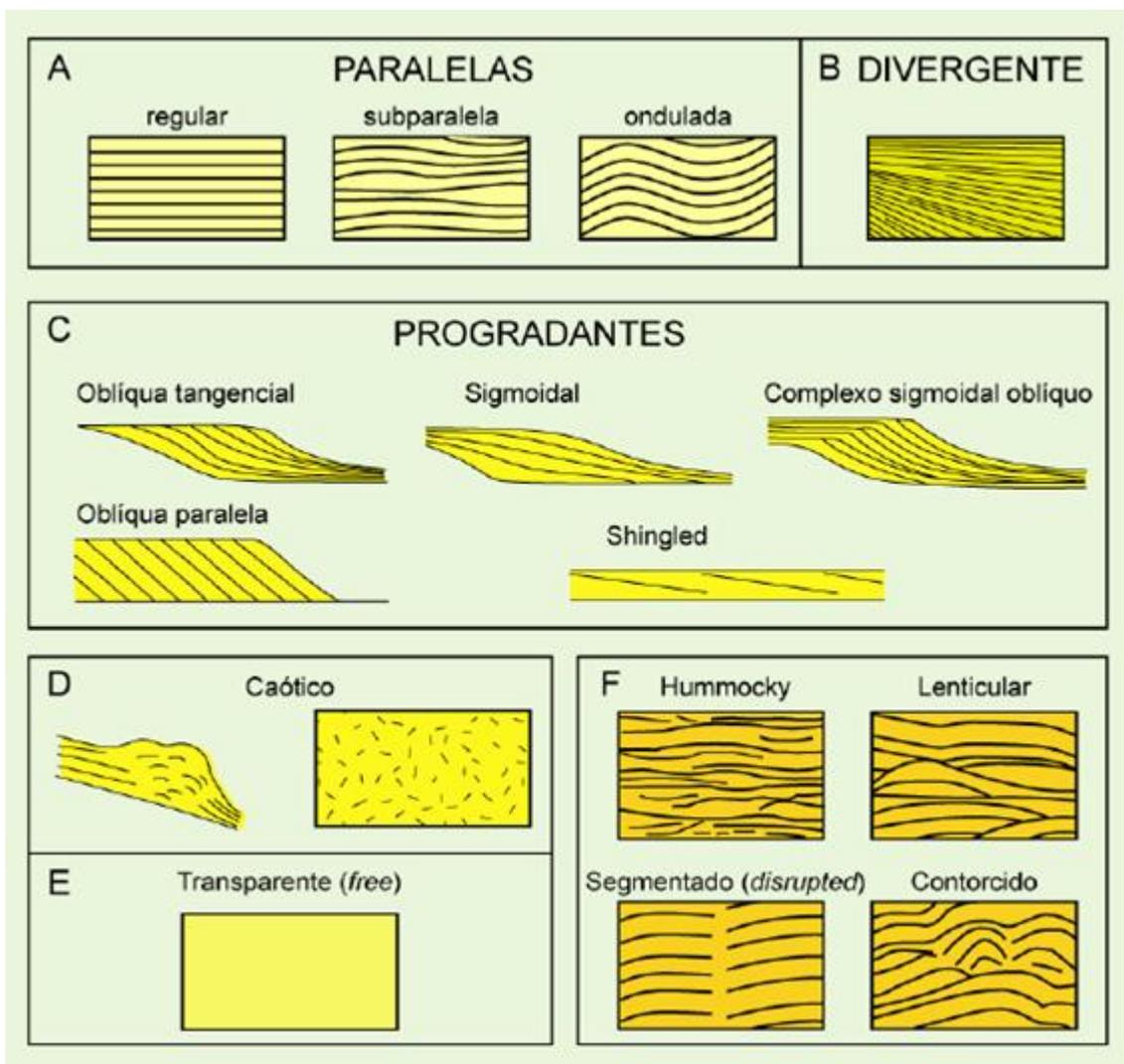


Figura 7. Representação de padrões de configurações de fácies sísmicas (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Mitchum Jr. *et al.*, 1977a).

Conforme Brown Jr & Fischer (1980), a forma tridimensional e expressão areal são características importantes das fácies sísmicas. A figura 8 ilustra algumas geometrias externas de fácies sísmicas, são elas: em lençol, lençol ondulado, cunha, banco, lente, de preenchimento (de canal, de bacia ou de talude) ou montiformas (Mitchum Jr. *et al.*, 1977a). As

geometrias em lençol, cunha e bancos caracterizam ambientes plataformais (Mitchum Jr. *et al.*, 1977a).

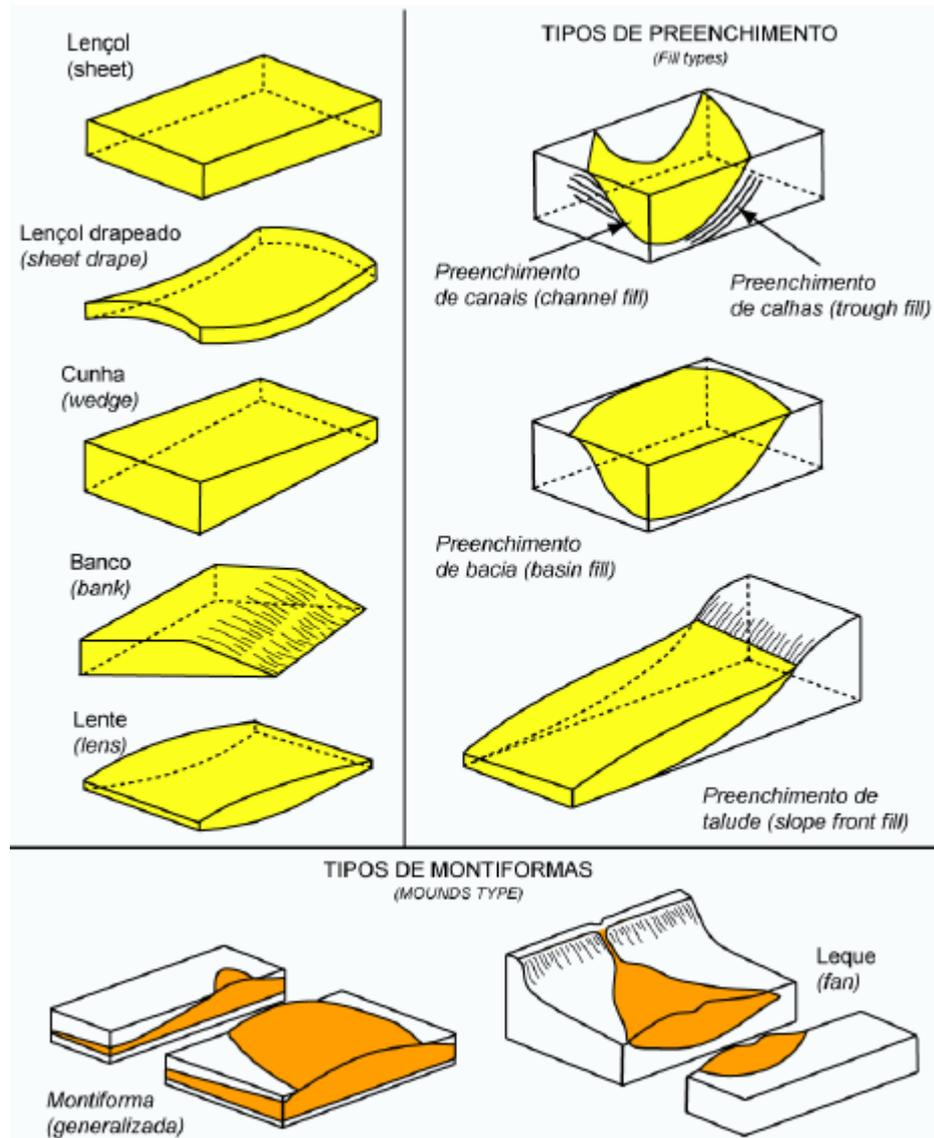


Figura 8. Geometrias externas de algumas unidades de fácies sísmicas (Fonte: Barboza, 2005, modificado de Mitchum Jr. *et al.*, 1977a).

A geometria em lençol, com sismofácies paralelas, indica deposição em planícies aluviais, plataforma ou planície abissal, enquanto que a de lençol ondulado indica uma deposição em ambiente de baixa energia como bacias evaporíticas ou planícies abissais (Ribeiro, 2001).

A geometria em lente é comum nas clinofomas progradantes, enquanto que as montiformas representam feições deposicionais topograficamente mais elevadas, resultantes de processos sedimentares, biogênicos (leques submarinos, lobos de escorregamento, turbiditos, contornitos, recifes e outros tipos de construções carbonáticas e vulcânicas) ou vulcânicos (Mitchum Jr. *et al.*1977a).

As geometrias de preenchimento (*fill types*) são interpretadas como feições negativas no relevo da superfície deposicional, podendo ser erosivas ou não. São elas: canais, *canyons*, calhas estruturais, bacias, depressões, sopé de talude (Ribeiro, 2001).

A determinação das sismofácies e suas geometrias externas em bacias não-usuais, como riftes, entretanto, exige o conhecimento dos sistemas deposicionais ocorrentes, e seus processo deposicionais relacionados.

4.2. MODELO DE EVOLUÇÃO TECTONO ESTRATIGRÁFICO DE BACIAS RIFTE

A aplicação de técnicas sismoestratigráficas em seções rifte é uma proposta inovadora, pois os modelos baseados na estratigrafia de seqüências classicamente foram desenvolvidos em bacias do tipo margem passiva. Uma bacia rifte continental apresenta um padrão de evolução tectônica muito distinto de uma bacia de margem passiva. Entretanto, diversos modelos tem sido propostos para aplicação de conceitos da estratigrafia de seqüências em caracterização tectono-estratigráfica de bacias rifte, tais como Prosser (1993), Morley (2002) e Kuchle & Scherer (2010). Estes modelos serviram como base para o desenvolvimento de uma sistemática de aplicação local da estratigrafia de seqüências na área de estudo.

Essa monografia de graduação utilizou como referência o trabalho de Kuchle & Scherer (2010), que constitui um modelo evolutivo baseado na Estratigrafia de Sequências e modelos escritos sobre ela, visando a

interpretação de seções riftes através da análise estratigráfica, interpretações de refletores e a separação do meio-gráben em unidades sismoestratigráficas, para assim compreender sua evolução e determinar o arcabouço estratigráfico da seção estudada.

O trabalho citado acima tem como abordagem principal os Tratos de sistemas tectônicos, *que são conjunto de sistemas deposicionais geneticamente relacionados a uma fase tectônica do rifte*. Conforme Kuchle & Scherer (2011), quatro tratos de sistemas tectônicos podem ser reconhecidos na fase rifte: Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte, Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte e Trato de sistemas Tectônico de Final do Rifte (Figura 9).

Um meio-gráben é composto basicamente por uma falha de borda e por uma margem flexural, formando uma geometria em cunha (Figura 9). A geometria de um meio-gráben é o principal fator que controla os sistemas deposicionais sedimentar de um rifte. A região do meio-gráben que sofre soerguimento é denominada de *footwall*, e a região que sofre subsidência é denominada de *hangingwall*.

Conforme o modelo utilizado neste trabalho, um meio-gráben deve ser analisado individualmente, pois a tectônica varia dentro da bacia, mudando o comportamento distensivo ao longo do tempo dentro da área. Com isso ocorre variação do tempo geológico e da evolução dentro da mesma, ou seja, cada meio-gráben possui um tipo de evolução (desenvolvimento, preenchimento e preservação) individual. Após analisar os meio-grábens individualmente, podemos correlacioná-los entre si, para assim montar um modelo evolutivo da área estudada.

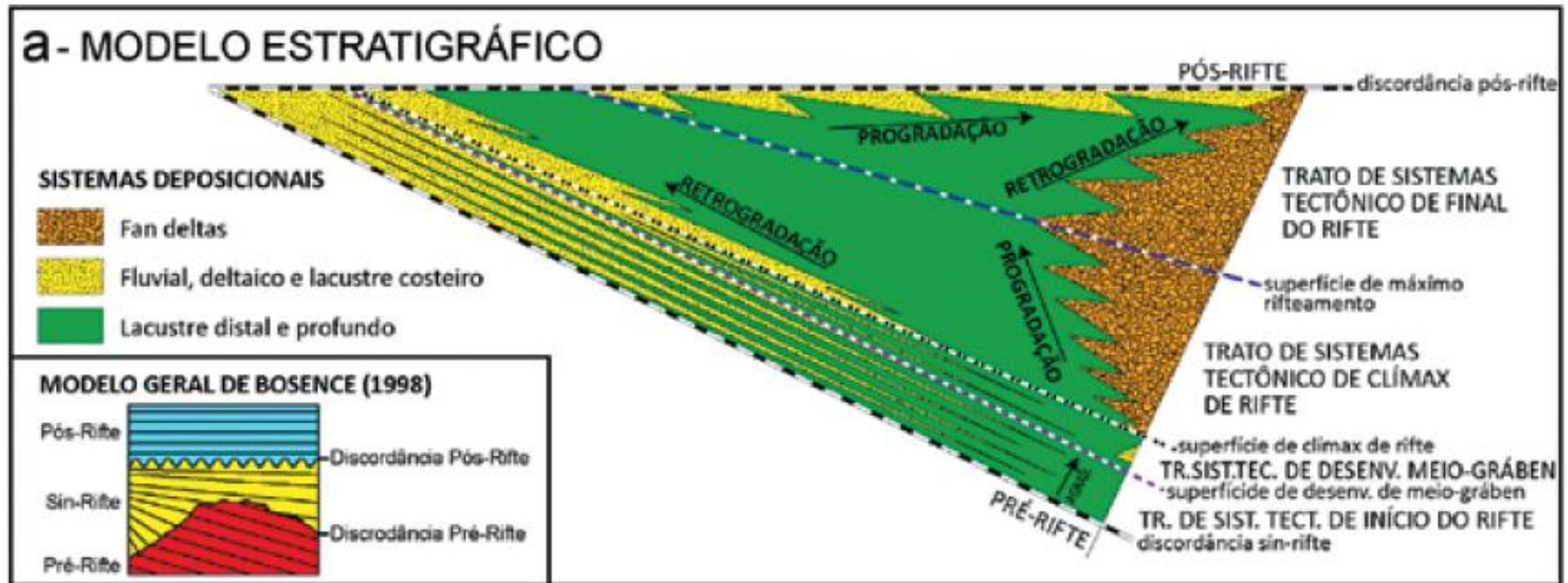


Figura 9. Modelo idealizado de uma bacia rifte com seus Tratos Tectônicos e superfícies limítrofes (Fonte: Kuchle & Scherer, 2010).

4.2.1. PARÂMETROS CONTROLADORES DE UMA BACIA RIFTE

Uma bacia rifte apresenta como principais parâmetros controladores na sua formação os seguintes elementos: tectônica, clima, magmatismo, eustasia, aporte sedimentar, espaço de acomodação.

A tectônica é o principal fator de controle em uma bacia rifte, que se forma através de esforços distensivos da crosta continental. Estes esforços, que ocorre através de pulsos tectônicos, controlam a formação de espaço de acomodação e a destruição do mesmo, como também a sedimentação dentro de um meio-gráben.

O clima é fundamental para o preenchimento da bacia, mas não é determinante para sua geração. A arquitetura de fácies e os modelos deposicionais dependem do clima nas bacias riftes. O clima age diretamente sobre os padrões, litologias e estilos de sedimentação, controlando as taxas de transporte e acumulação, taxas de intemperismo e erosão, composição clástica, produção de carbonatos, precipitação de evaporitos, variação do nível do lago e diagênese (Bosence, 1998). O clima é importante nas flutuações do nível de base.

A presença do magmatismo determina se o rifte ainda é ativo. O magmatismo também é considerado um fator controlador do preenchimento de bacias rifte, visto que a dinâmica tectônica, os padrões de preenchimento, os sistemas deposicionais e modelos de fácies são diferentes quando ocorrem eventos vulcânicos intercalados com rochas sedimentares. O vulcanismo pode gerar anomalias no preenchimento do espaço, resultando em uma reestruturação dos sistemas deposicionais, que podem ser interpretados como padrões de empilhamento não relacionados ao preenchimento do rifte.

A eustasia não apresenta um controle efetivo em riftes continentais, pois eles praticamente não possuem conexão com o oceano. Assim, como no caso da Fm. Lagoa Feia, a eustasia não apresenta relação de controle na variação do nível do lago neste caso, e incursões marinhas não foram descritas até o momento.

O aporte sedimentar e espaço de acomodação são fatores derivados dos controles fundamentais acima descritos.

O aporte sedimentar controla o preenchimento e a preservação de um rifte, e é dependente da tectônica sofrida pela bacia sedimentar e do clima onde ela se formou. Quanto maior a atividade tectônica, maior a quantidade de sedimentos disponíveis em um meio-gráben. Juntamente com a tectônica, a intensidade que a rede de drenagem atua sobre o meio-gráben também influencia no aporte sedimentar, que é tanto maior quanto mais densa for a rede de drenagem. O aporte sedimentar é considerado fundamental para a formação dos padrões de empilhamento.

O espaço de acomodação é importante na geração, preenchimento e preservação de bacias rifte e depende da tectônica. O aumento da tectônica gera um aumento do espaço de acomodação.

4.2.2. TRATOS DE SISTEMAS TECTÔNICOS

Conforme Kuchle & Scherer (2010), modificado do conceito original de Brown & Fischer (1977), os tratos de sistemas tectônicos são conjuntos de sistemas deposicionais temporalmente relacionados, vinculando-se a uma relação específica de variáveis em um período também específico da fase rifte.

4.2.2.1. Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte (TTIR)

No Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte (TTIR) a geometria de meio-gráben ainda não foi desenvolvida, constituindo uma ampla bacia rasa, em forma de sinéclise, mas com muitas falhas normais de pequeno rejeito, indicando um claro controle tectônico no desenvolvimento desta fase. Esta atividade tectônica é pervasiva e relativamente uniforme ao longo da crosta inicialmente estirada, por isso não são desenvolvidas falhas com grandes movimentos em curtos períodos de tempo, e sim uma grande quantidade de falhas com rejeitos pequenos e de atividade constante.

Neste trato os sistemas deposicionais são predominantemente aluviais, fluviais e lacustres rasos, em locais de baixo aporte sedimentar ou de maior subsidência. Esses sistemas ocorrem em extensas planícies, com pequenos altos. Seu padrão de empilhamento tende a ser agradacional, onde o espaço de acomodação criado é totalmente preenchido. Pode-se observar ciclos internos menores retrogradacionais e progradacionais, podendo ocorrer discordâncias internas relacionadas a rearranjos estruturais desta fase.

O TTIR tem como principais limites a Discordância Sin-Rifte (em sua base), separando o rifte do pré-rifte, e a Superfície de Desenvolvimento de Meio-Gráben (em seu topo), separando o Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte do Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben.

4.2.2.2. Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben

Neste trato de sistemas ocorre o desenvolvimento inicial do meio-gráben. A atividade tectônica começa a ficar mais intensa que no trato anterior e começa a se concentrar em uma falha específica, que será a futura falha de borda, conforme Morley (2002). Nessa fase as drenagens já começam a orientar-se conforme a geometria de meio-gráben. O depocentro desse trato desenvolve-se junto à falha de borda, e os sistemas costeiros, deltaicos e fluviais progradam a partir da margem flexural ou axial sobre os sedimentos lacustres rasos (um pouco mais profundo que na fase anterior). Como ocorre uma concentração da deformação rúptil na falha de borda, o meio-gráben estabelecido neste trato de sistemas tem uma área deposicional menor que a ampla bacia do trato de sistemas de início do rifte, podendo inclusive este servir de fonte de sedimentos, sofrendo erosão para preencher o Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben.

Em geral, o padrão de empilhamento do deste trato é progradacional, onde o aporte sedimentar supera a taxa de criação do espaço de acomodação. Com isso, ocorre a expansão do sistema lacustre, que é marcada pela Superfície de desenvolvimento de meio-gráben, e uma progradação da

margem flexural (sistemas costeiros e deltaicos) e, por fim, deposição dos sistemas fluviais e eólicos. O topo deste trato de sistemas é marcado pela Superfície de Clímax de Rifte.

4.2.2.3. Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte (TTCR)

Este trato é caracterizado pelo aumento progressivo da tectônica, chegando à máxima atividade tectônica na bacia. Esta atividade tectônica ocorre através de pulsos, criando grandes quantidades de espaço de acomodação, que nessa fase supera a taxa de aporte sedimentar. Além disso, o meio-gráben também sofre uma grande expansão com os pulsos tectônicos, ocorrendo o desenvolvimento de um sistema lacustre profundo e estabelecimento da rede de drenagem da falha de borda, formando grandes depósitos de conglomerados, leques deltaicos ou leques aluviais. Os depósitos conglomeráticos são espessos verticalmente, porém possuem pouca continuidade lateral, gradando para folhelhos lacustres profundos.

No Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte (TTCR) podem ocorrer três redes de drenagens distintas atuando em conjunto nos meio-grábens: a drenagem da falha de borda (que descarrega grande volume de sedimentos grossos), a drenagem da margem flexural e a drenagem axial. Esta última é a principal fonte de entrada de sedimentos em um meio-gráben, pois compreende bacias de captação nos *footwalls* amplas e concentradoras de sistemas tributários.

Como resultado, os padrões de empilhamento em um meio-gráben nesse trato são distintos. Com a expansão do meio-gráben, na margem flexural e axial ocorrem padrões predominantemente retrogradacionais, devido ao espaço de acomodação criado ser muito maior que o aporte sedimentar. Ao contrário, na falha de borda, com o aumento da tectônica, ocorre grande descarga de sedimentos, gerando uma progradação. Assim, em geral, no Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte observa-se um padrão retrogradacional da margem flexural e um padrão progradacional da falha de borda.

O TTCR tem como limite na sua base a Superfície de Clímax de Rifte, em que ocorre um afogamento na margem flexural e progradações dos conglomerados na falha de borda. Sobre a superfície de clímax ocorrem sucessivos onlaps e retrogradações relacionadas ao aumento da taxa de criação de acomodação e expansão do meio-gráben. O limite de topo desse trato é a Superfície de Máximo Rifteamento, marcando a máxima expansão do meio gráben e a mudança do padrão de empilhamento na margem flexural/axial e na falha de borda.

Além disso, podem ocorrer escorregamentos nos depósitos lacustres, gerando fluxos de massas, que aumentam em direção ao topo desse trato. Esses escorregamentos ocorrem devido ao aumento da tectônica nessa fase e a disponibilidade de sedimentos na região costeira.

4.2.2.4. Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte

No Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte a tectônica passa a diminuir a sua atividade. Com isso, a área deposicional do meio-gráben começa a ficar menor, ocorrendo um recuo do sistema lacustre, domínio dos sistemas costeiros, e no topo há predomínio de sistemas fluviais e eólicos, favorecendo o preenchimento do meio-gráben. O aporte sedimentar passa a dominar, aumentando a carga de sedimentos aportados pela drenagem da margem flexural e axial.

Os padrões de empilhamento começam a se inverter, passando a ser progradacional na margem flexural/axial e retrogradacional na falha de borda. Isso acaba causando um truncamento erosivo dos estratos anteriores (das fases pré-rifte e sin-rifte, gerando erosão das porções marginais do início do rifte, desenvolvimento de meio-gráben e clímax de rifte), e criação de cânions e vales incisos na plataforma da margem flexural.

No Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte os três padrões de drenagem atuam sobre o meio-gráben. Porém na margem flexural e axial as drenagens atuam com mais intensidade, desenvolvendo sistemas deltaicos e

posteriormente aluviais bem desenvolvidos. As drenagens atuantes sobre a falha de borda são menos intensas devido à diminuição dos pulsos tectônicos.

Por fim, a atividade tectônica do processo de rifteamento cessa e o meio-gráben é preenchido, gerando uma discordância regional (Discordância do Pós-Rifte). Essa discordância também marca o início de uma nova fase tectônica na bacia, que não faz mais parte do rifte, na qual são gerados os estratos pós-rifte.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo aborda os resultados obtidos individualmente para cada linha sísmica interpretada, fazendo por fim uma integração das linhas interpretadas e criando um modelo integrado do meio-gráben em estudo.

5.1. LINHA SÍSMICA 1

Esta linha sísmica encontra-se mais ao norte da área de estudo, com orientação NEE–SWW (Figura 4). O meio-gráben no qual a Linha Sísmica 1 está inserida apresenta eixo principal (paralelo à falha de borda) com uma orientação NE-SW. A falha de borda localiza-se a leste e a margem flexural a oeste, com um caimento em direção à falha de borda. Na margem flexural observam-se várias falhas normais, devido à tectônica distensiva da bacia. O meio-gráben é simples, pois apresenta apenas uma falha principal (falha de borda) (Figura 10).

Nesta seção, a fase inicial do rifte ocorreu quando a bacia possuía uma forma alongada, com pequenas falhas normais e sem geometria de meio-gráben, onde se depositaram os basaltos da Formação Cabiúnas. Devido à falta de resolução sísmica em profundidade, não foi possível interpretar nesta linha sísmica o Trato Tectônico de Início do Rifte, que assim não foi representado na interpretação da mesma.

Os refletores sísmicos foram rastreados e essa linha sísmica foi dividida em 21 unidades sismoestratigráficas (Figuras 11 e 12) que estão compreendidas em três fases distintas: Trato de Sistemas Tectônico de

Desenvolvimento de Meio-Gráben (unidades sismoestratigráficas 1 à 5), Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte (unidades sismoestratigráficas 6 a 10) e Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte (unidades sismoestratigráficas 11 à 21). Estas figuras podem ser visualizadas em maior detalhe no anexo 1 do trabalho.

Esta linha sísmica compreende cinco sismofácies diferentes, que foram individualizadas pelo padrão do comportamento dos refletores sísmicos (Figuras 11 e 12). Elas indicam sistemas deposicionais distintos, e como eles correlacionam-se entre si. As sismofácies identificadas nessa linha sísmica compõem os sistemas fluvial, lacustre raso (onde coquinas podem ser encontradas), lacustre raso sem coquinas, lacustre profundo e fan deltas (conglomerados) (Figura 12). Nesta seção interpretada é possível visualizar ambientes lacustres rasos e fluviais no início do meio-gráben, indicando uma lâmina d'água rasa. A parte central do meio-gráben é composta predominantemente por um ambiente lacustre profundo associado lateralmente a um ambiente lacustre raso com coquinas. Em direção ao topo do meio-gráben observa-se predominância de sistemas interpretados como fluviais, que progradam sobre os ambientes lacustre raso e lacustre profundo, indicando uma progradação da margem flexural para o interior da bacia. Os conglomerados (fan deltas) estão associados à falha de borda, e nesta seção observam-se dois grandes avanços principais da cunha de conglomerados, possivelmente demonstrando que ocorreu uma divisão da cunha conglomerática da falha de borda em dois pulsos de ordem maior na bacia.

A fase de desenvolvimento de meio-gráben tem seu início com a superfície de desenvolvimento de meio-gráben, que nesta linha sísmica é representada pela base da unidade sismoestratigráfica 1 (Figura 12). A geometria de meio-gráben já é visível, porém ele ainda é pequeno e não muito desenvolvido. Esta fase é chamada de Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, que nesta linha sísmica é composto pelas unidades sismoestratigráficas de 1 a 5. Este trato é composto por sistemas fluviais e lacustres rasos.

A fase do Clímax de Rifte inicia-se com a superfície de Clímax de Rifte, que marca uma inundação regional na bacia devido à atividade inicial da falha de borda na bacia e os sistemas lacustres. Essa superfície encontra-se no topo da unidade sismoestratigráfica 5 (Figura 12). Nesta fase ocorre uma maior expansão da bacia e o meio-gráben já passa a assumir sua geometria bem desenvolvida. Esta expansão se dá, principalmente, devido ao aumento progressivo da tectônica na bacia. Também devido a isso, os sistemas lacustres passam a ficar mais profundos. Portanto, esta fase é denominada de Trato Tectônico de Clímax do Rifte, que compreende as unidades sismoestratigráficas de 6 a 10 (Figura 12). Neste trato de sistemas é possível visualizar um padrão progradante dos conglomerados vindos da falha de borda para o interior da bacia, e uma retrogradação na margem flexural, visível pela expansão do sistema lacustre raso e profundo, e retração do sistema fluvial.

Ainda na fase de Clímax de Rifte da Bacia ocorre a máxima expansão do meio-gráben, devido a grande atividade tectônica, que é marcada pela superfície de Máximo Rifteamento. Essa superfície encontra-se no topo da unidade sismoestratigráfica 10 nesta linha sísmica, e a partir dela, inicia-se o Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte que é compreendido entre as unidades sismoestratigráficas 11 à 21 (Figuras 11 e 12). Nesta fase é possível observar o domínio de ambientes fluviais sobre os lacustres, gerando uma progradação da margem flexural para o interior da bacia. Já os conglomerados da falha de borda vão recuando devido à diminuição da atividade tectônica na bacia, mostrando assim um padrão retrogradacional desses conglomerados associados à falha de borda. O crescente aumento da sedimentação vinda da margem flexural junto com a finalização da expansão do meio-gráben faz com que ocorra o preenchimento do espaço de acomodação, finalizando assim a fase rifte, com uma erosão (discordância pós-rifte), passando para uma fase pós-rifte.

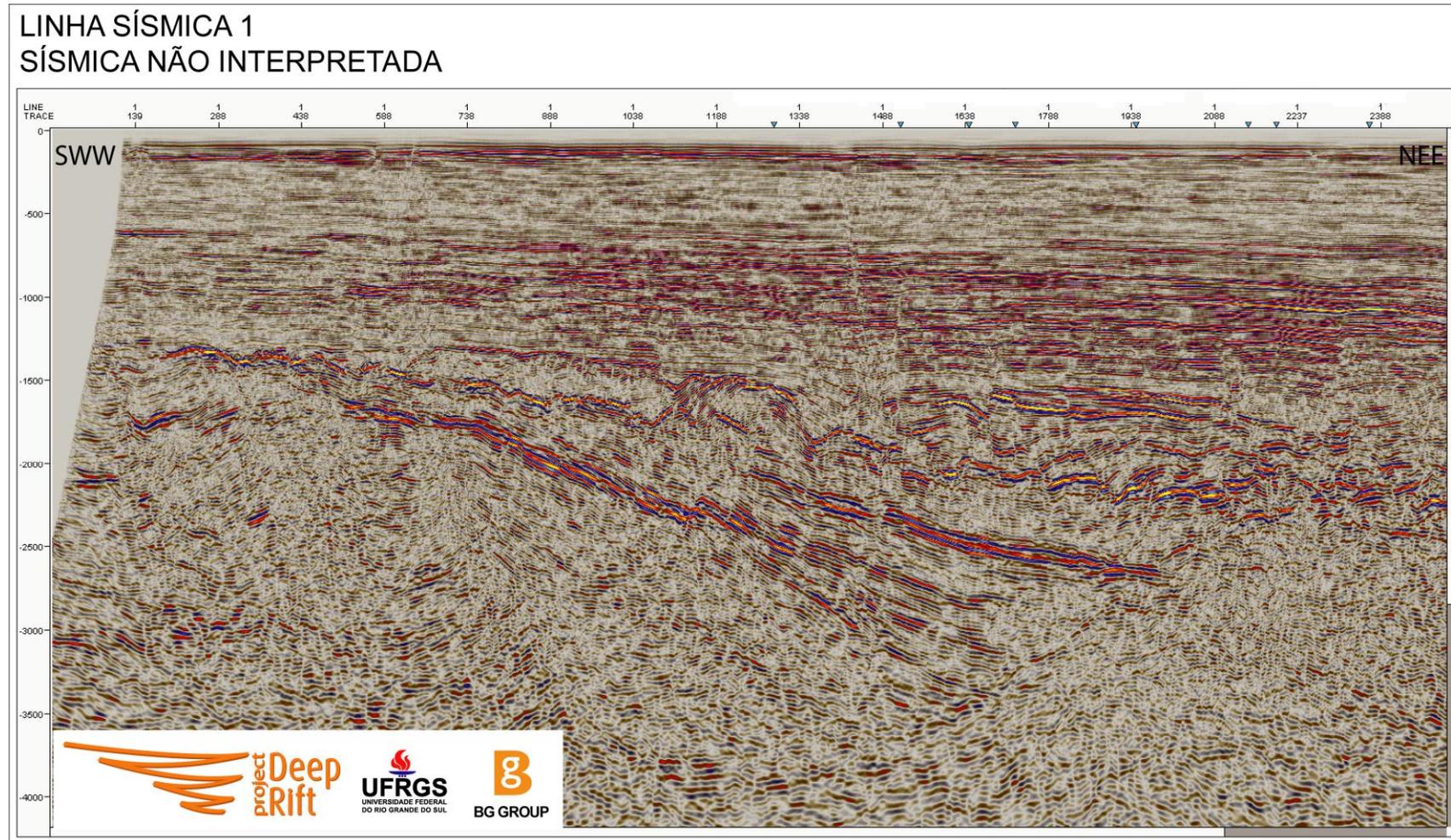


Figura 10. Composição sísmica 2D que serviu de base para interpretação sismoestratigráfica na Linha Sísmica 1..

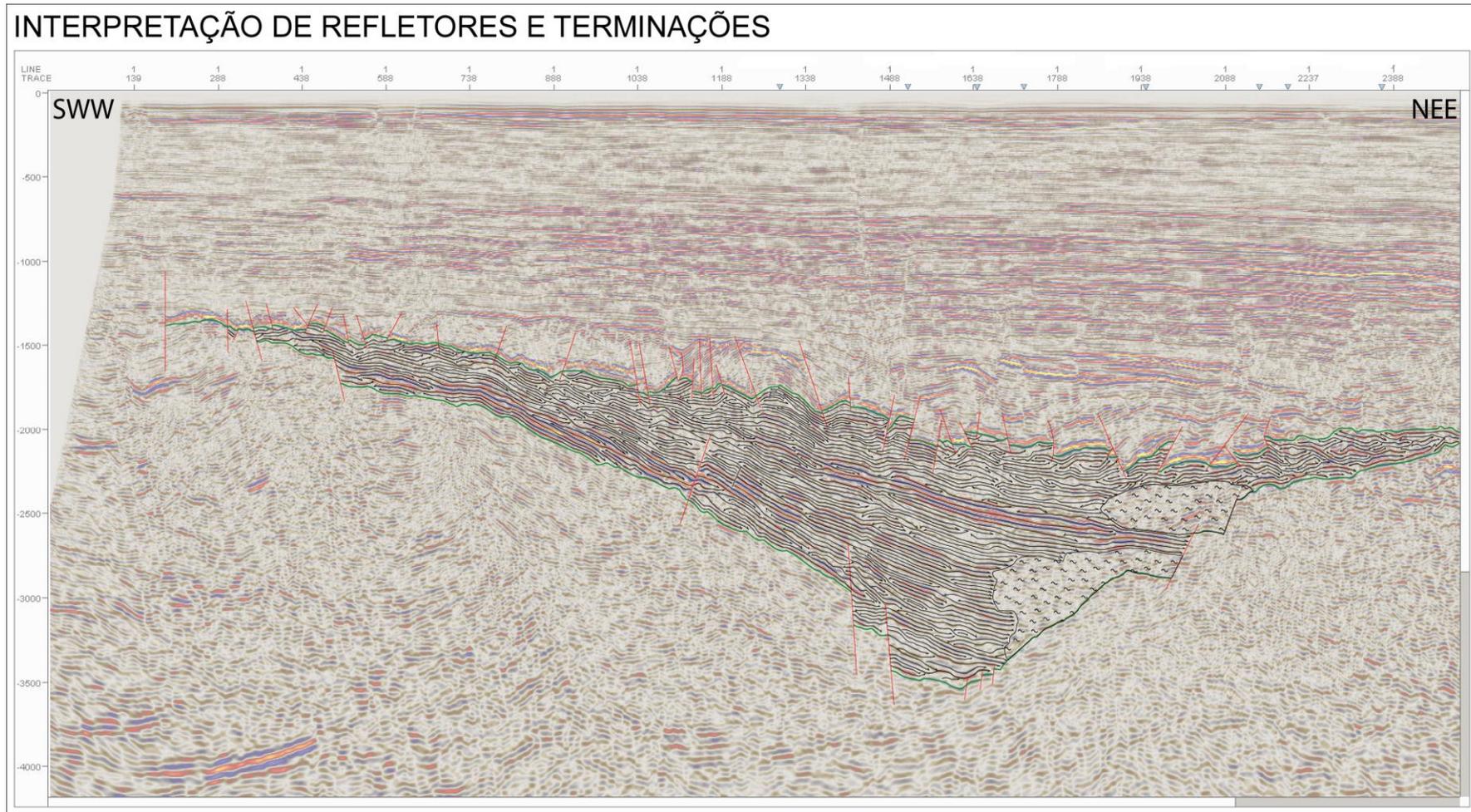


Figura 11. Interpretação completa dos refletores sísmicos e suas terminações na Linha Sísmica 1.

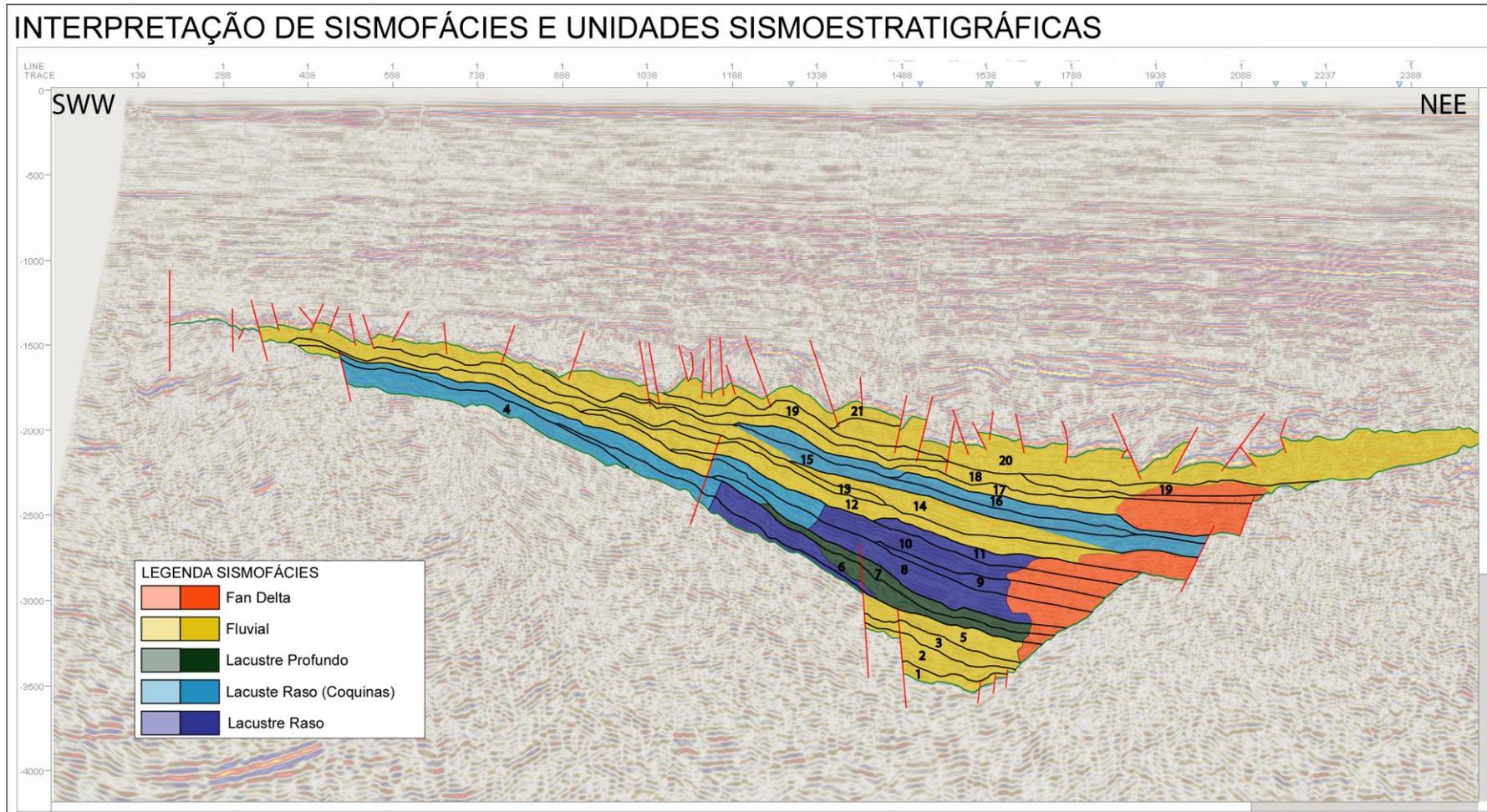


Figura 12. Divisão do Meio-Gráben em unidades sismoestratigráficas e representação das sismo fácies na Linha Sísmica 1.

5.2. LINHA SÍSMICA 2

Esta linha sísmica está localizada entre a Linha Sísmica 1 e a Linha Sísmica 3, também com uma orientação NEE-SWW (Figura 4). O meio-gráben no qual a Linha Sísmica 2 está inserida apresenta eixo principal (paralelo a falha de borda) com uma orientação NE-SW. Sua falha de borda encontra-se a SE da área, enquanto que a margem flexural encontra-se a NW da área. A margem flexural é composta por algumas falhas normais, devido à tectônica distensiva da bacia. O meio-gráben é simples, possuindo uma única falha principal, denominada de falha de borda (Figura 13).

A fase de início do rifte nesta seção formou-se em uma ampla bacia de forma alongada, rasa, com pequenas falhas normais, onde ocorreu a deposição de basaltos da Formação Cabiúnas. Devido à falta de resolução sísmica em profundidade, não foi possível interpretar nesta linha sísmica o Trato Tectônico de Início do Rifte, não sendo representado nesta interpretação.

Os refletores sísmicos foram rastreados e essa linha sísmica foi dividida em 18 unidades sismoestratigráficas (Figuras 14 e 15) que foram compreendidas em três tratos tectônicos distintos: Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben (unidades sismoestratigráficas 1 à 2), Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte (unidades sismoestratigráficas 3 à 6) e Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte (unidades sismoestratigráficas 7 à 18). Estas figuras podem ser visualizadas em maior detalhe no anexo 2 do trabalho.

A Linha Sísmica 2 foi dividida em cinco sismofácies segundo o padrão de comportamento dos refletores sísmicos (Figuras 14 e 15), que compõem os sistemas fluvial, lacustre raso, lacustre raso com coquinas, lacustre profundo e fan deltas (conglomerados). Os conglomerados (fan deltas) desta seção seguem um padrão progradacional das unidades sismoestratigráficas 3 à 6 e um retrogradacional das unidades sismoestratigráficas 7 à 16, e estão ligados a falha de borda. Os sistemas fluvial e lacustre raso predominam no início do meio-gráben. Na parte central tem-se predominância de um sistema lacustre

profundo, associado a um lacustre raso com coquinas e um lacustre raso sem coquinas. Em direção ao topo do meio-gráben ocorre recuo do sistema lacustre profundo e avanço do sistema fluvial sobre os sistemas lacustres, indicando uma progradação da margem flexural para o interior da bacia.

A partir da superfície de desenvolvimento de meio-gráben, marcada pela base da unidade sismoestratigráfica 1 (Figura 15), tem-se fase de início de desenvolvimento do meio-gráben, que é chamada de Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben (unidades sismoestratigráficas 1 à 2). Nele observa-se o meio-gráben pouco desenvolvido de tamanho ainda reduzido, com predominância de sistemas fluviais e lacustres rasos.

O topo da unidade sismoestratigráfica 2 é marcado pela Superfície de Clímax de Rifte, que representa uma inundação regional na bacia. A partir dela inicia-se o Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rifte, que compreende as unidades sismoestratigráficas 3 à 6 (Figura 15). Neste trato houve um aumento da atividade tectônica em toda a bacia, levando a uma expansão da mesma. O meio-gráben passa então a ter uma geometria bem desenvolvida. O sistema lacustre fica mais profundo (visível nas unidades sismoestratigráficas 3, 4 e 6), avançando sobre o sistema lacustre raso com coquinhas, criando assim um padrão retrogradacional da margem flexural para o interior da bacia. Já na falha de borda ocorre o avanço dos conglomerados para o interior da bacia, devido ao aumento da atividade tectônica na mesma, sendo possível observar um padrão progradacional dos mesmos. O Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rifte termina quando o meio-gráben chega a sua maior expansão, dando origem a superfície de Máximo Rifteamento (topo da unidade sismoestratigráfica 6).

Assim, inicia-se o Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte, que está compreendendo entre as unidades sismoestratigráficas 7 à 18 (Figura 15). Nele ocorre a diminuição da atividade tectônica da bacia, pois cessam os esforços distensivos e ocorre a ruptura do rifte. Com isso, os conglomerados da falha de borda recuam, gerando um padrão retrogradacional dos mesmos (unidades sismoestratigráficas 7 à 16), enquanto que na margem flexural o

sistema lacustre profundo recua e ocorre um avanço do sistema fluvial sobre os sistemas lacustres, marcando um padrão prográdacional da margem flexural para o interior da bacia. Neste momento há uma intensa sedimentação vinda da margem flexural, preenchendo toda a bacia. Por fim, tem-se uma erosão (discordância pós-rifte), e começam a se depositar os sedimentos de uma fase pós-rifte.

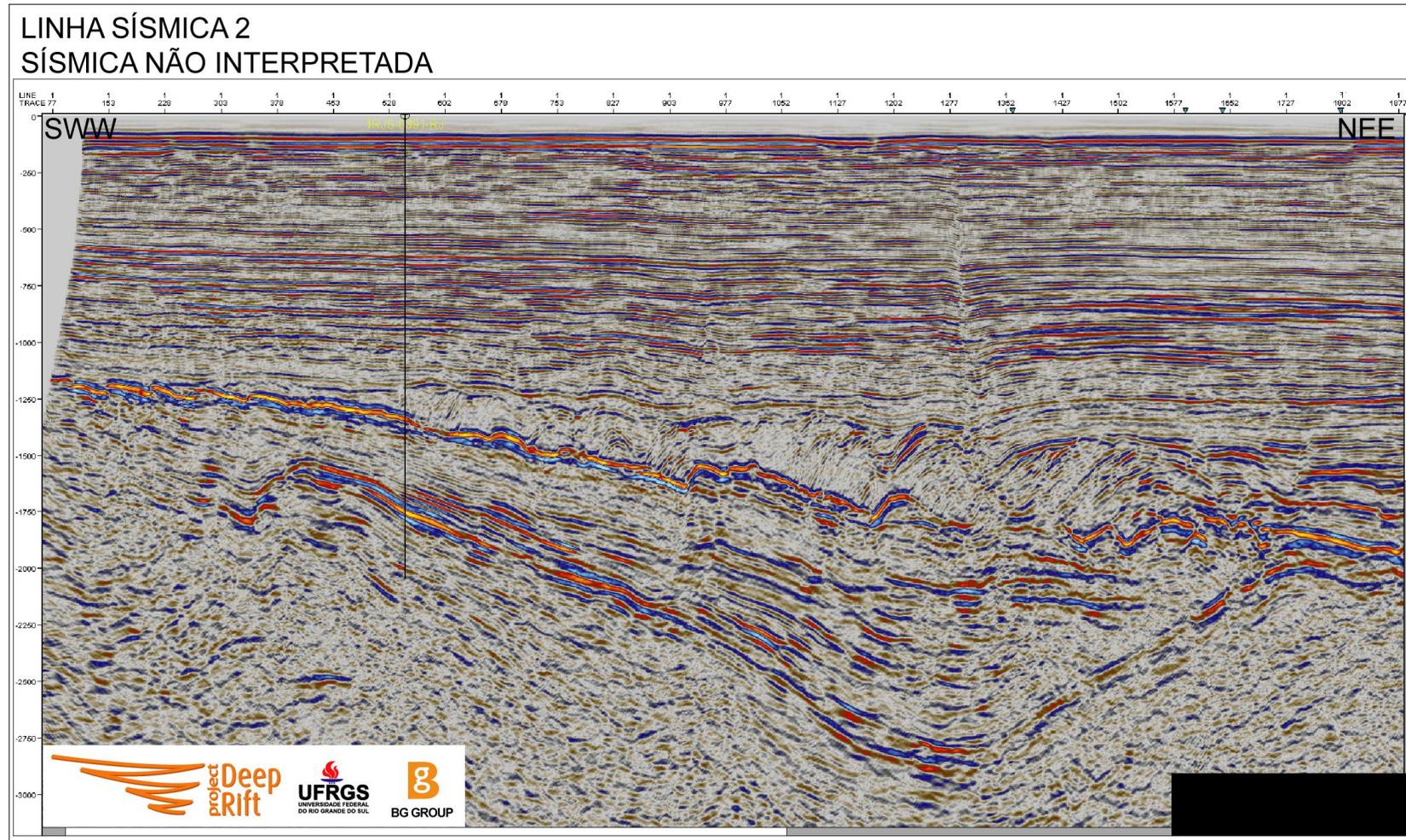


Figura 13. Composição sísmica 2D que serviu de base para interpretação sismoestratigráfica na Linha Sísmica 2..

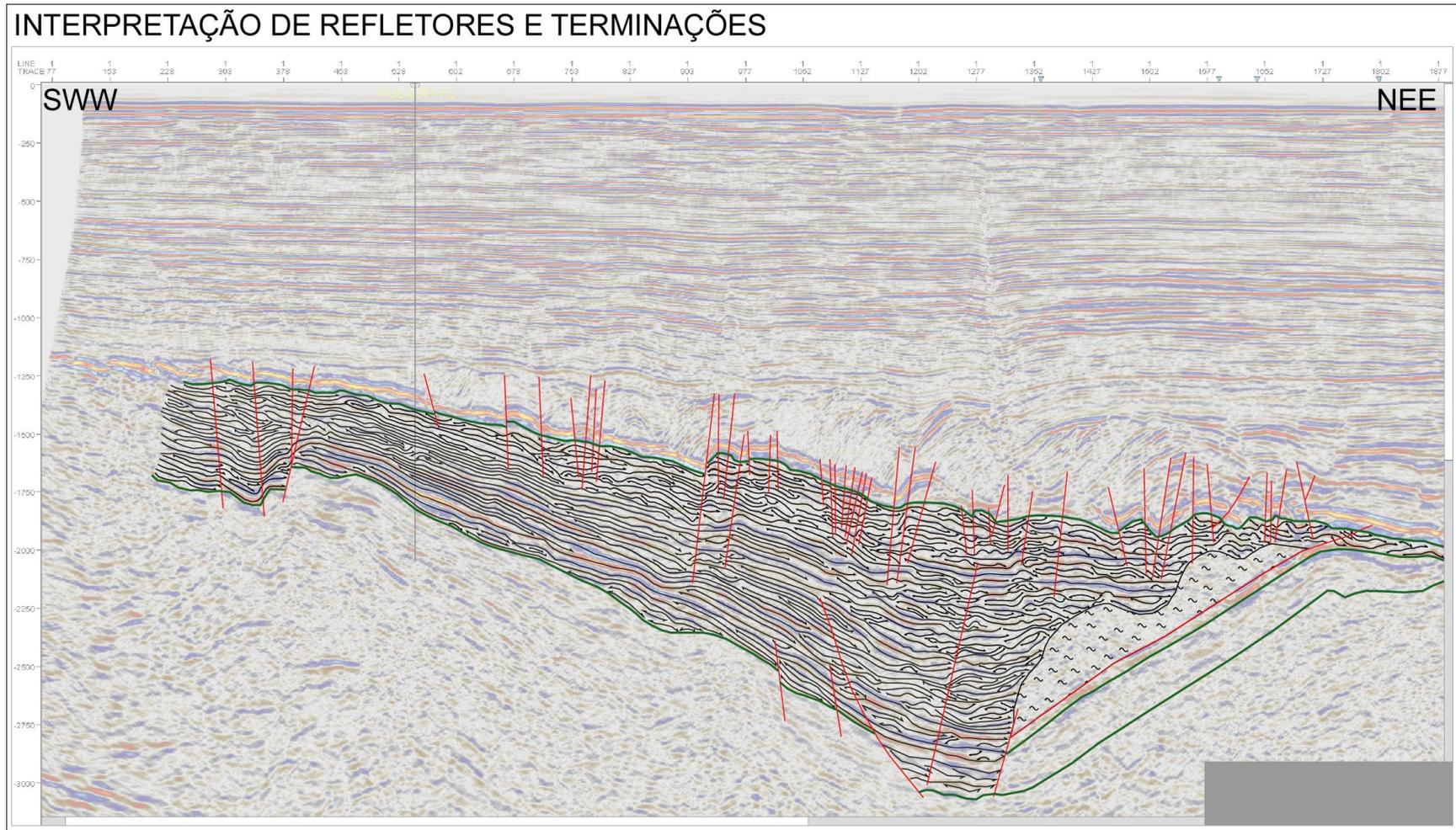


Figura 14. Interpretação completa dos refletores sísmicos e suas terminações na Linha Sísmica 2.

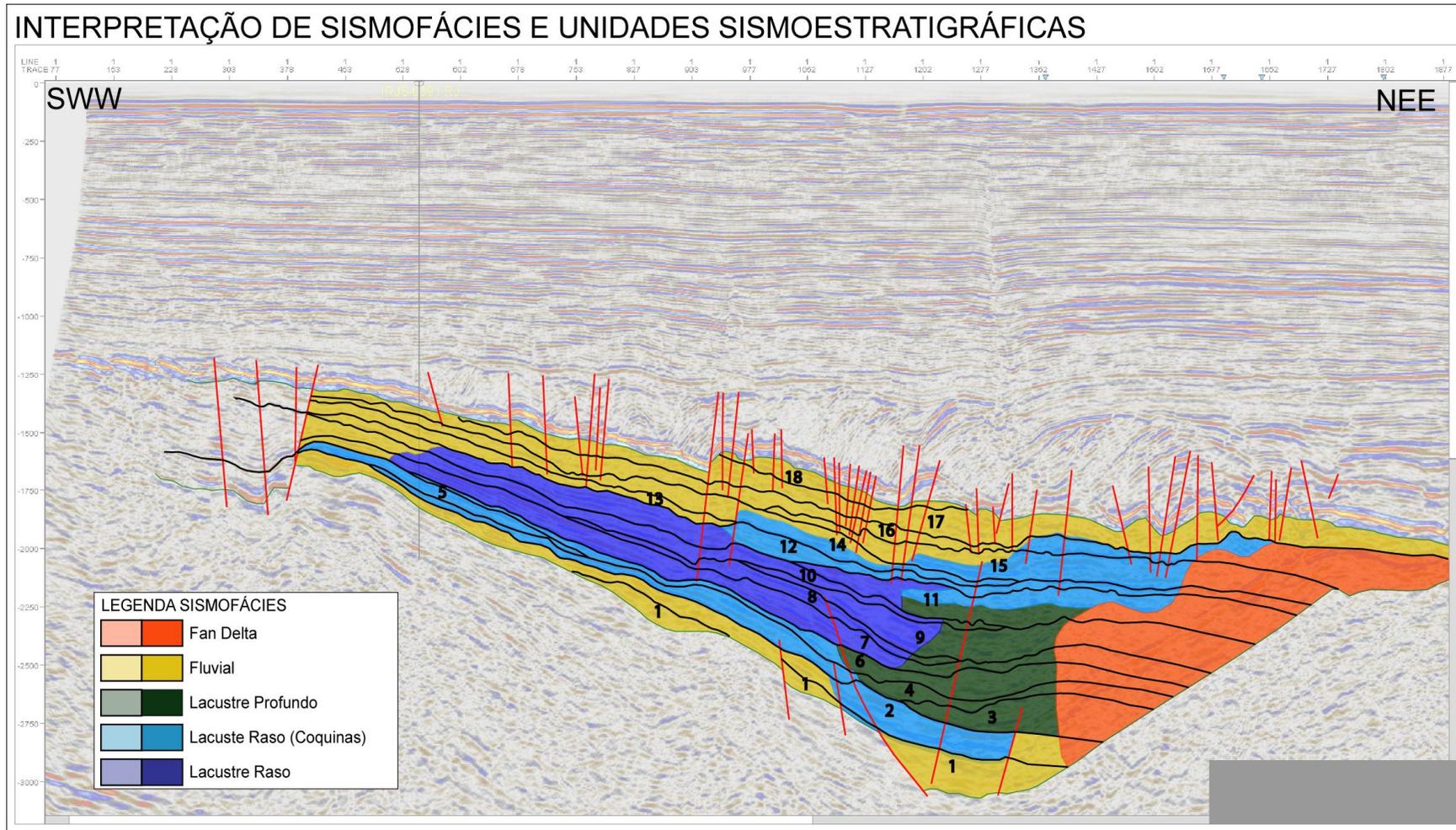


Figura 15. Divisão do Meio-Gráben em unidades sismoestratigráficas e representação das sismo fácies na Linha Sísmica 2.

5.3. LINHA SÍSMICA 3

Esta linha sísmica localiza-se mais ao sul da área de estudo, com orientação NEE–SWW (Figura 4). A linha sísmica está inserida no meio-gráben que apresenta um eixo principal (paralelo à falha de borda) com uma orientação NE-SW. A falha de borda, composta por várias pequenas falhas, está localizada a SE e a margem flexural, com várias falhas normais, a NW (Figuras 17 e 18). O meio-gráben iniciou com dois pequenos grábens, que ao longo de sua evolução sofreram fusão e se tornaram um único meio-gráben. Na falha de borda houve um grande avanço da cunha conglomerática para o interior do meio-gráben.

A fase inicial do rifte, como nas outras linhas descritas anteriormente, também ocorreu quando a bacia possuía uma forma alongada, com pequenas falhas normais e sem a geometria de meio-gráben. Neste contexto depositaram-se os basaltos da Formação Cabiúnas. O Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte não foi representado nas interpretações sísmicas devido à falta de resolução sísmica em profundidade. Os refletores sísmicos foram rastreados e essa linha sísmica foi dividida em 22 unidades sismoestratigráficas (Figuras 17 e 18), compreendidas em três fases distintas: Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben (unidades sismoestratigráficas 1 a 3), Trato de Sistemas Tectônico de Clímax do Rifte (unidades sismoestratigráficas 4 a 9) e Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte (unidades sismoestratigráficas 10 a 22). Estas figuras podem ser visualizadas em maior detalhe no anexo 3 deste trabalho.

Esta seção foi dividida em cinco sismofácies (Figura 18), compondo os sistemas fluvial, lacustre raso, lacustre raso com coquinas, lacustre profundo e fan deltas (conglomerados). Os conglomerados estão associados à falha de borda e sofreram avanços e recuos devido à atividade tectônica na bacia. O ambiente lacustre profundo encontra-se na parte central da bacia, e os lacustres rasos com e sem coquinas predominam na base e centro do meio-

gráben, sofrendo um recuo na fase final, quando passa a predominar o sistema fluvial na bacia.

Os dois pequenos grábens iniciais que foram fundidos ao longo da evolução para formar um único meio-gráben, compõem o Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-gráben, com as unidades sismoestratigráficas de 1 à 3 (Figura 18). A superfície de Desenvolvimento de Meio-gráben está localizada na base da unidade sismoestratigráfica 1. Os pequenos grábens são compostos por sistemas lacustres rasos no seu início, passando a lacustre mais profundo no primeiro gráben (Figura 18). Já o segundo gráben possui uma pequena falha com discretos rejeitos na bacia. Esta pequena falha seria uma possível falha de borda para esse gráben e que com a fusão dos dois pequenos grábens em um meio-gráben ela deixou de ser expressiva.

O Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rife inicia-se após uma inundação regional na bacia, que é marcada pela superfície de Clímax de Rife (topo da unidade sismoestratigráfica 3) (figura 18). A partir deste trato, que compreende as unidades sismoestratigráficas 4 à 9, os pequenos grábens já viraram um único meio-gráben. Nesta fase ocorre um aumento da atividade tectônica, chegando à máxima atividade tectônica na bacia, com conseqüente expansão do meio-gráben. A fase é composta nesta seção por um sistema lacustre raso na parte central do meio-gráben, que avança sobre um sistema lacustre raso com coquinas. O empilhamento destes sistemas sugere um padrão retrogradante da margem flexural para o interior da bacia, enquanto que o avanço dos conglomerados vindos da falha de borda em direção à bacia sugere um padrão progradante dos mesmos. A expansão máxima da bacia nesta fase é marcada pela Superfície de Máximo Rifeamento (topo da unidade sismoestratigráfica 9) (Figura 18), e a partir dela inicia-se o Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rife.

O Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rife ocorre entre as unidades 10 à 22 (Figura 18). Nele é visível o recuo dos conglomerados associados à falha de borda, gerando um padrão retrogradacional deles em

direção ao interior da bacia. Esse recuo acontece devido à diminuição da atividade tectônica, que também favorece o preenchimento do meio-gráben. Na margem flexural observa-se um recuo do ambiente lacustre raso e lacustre raso com coquinas, e um avanço do sistema fluvial sobre os lacustres, indicando um padrão progradacional da margem flexural para o interior da bacia. O grande aporte de sedimentos oriundos do sistema fluvial faz com que haja uma grande sedimentação na bacia, levando ao preenchimento do meio-gráben. Com o meio-gráben preenchido, termina a fase rifte, passando para uma fase pós-rifte onde se depositam sedimentos não associados com o processo de rifteamento. A passagem da fase rifte para a fase pós-rifte é marcada por um extensivo evento erosivo que gerou a discordância pós-rifte.

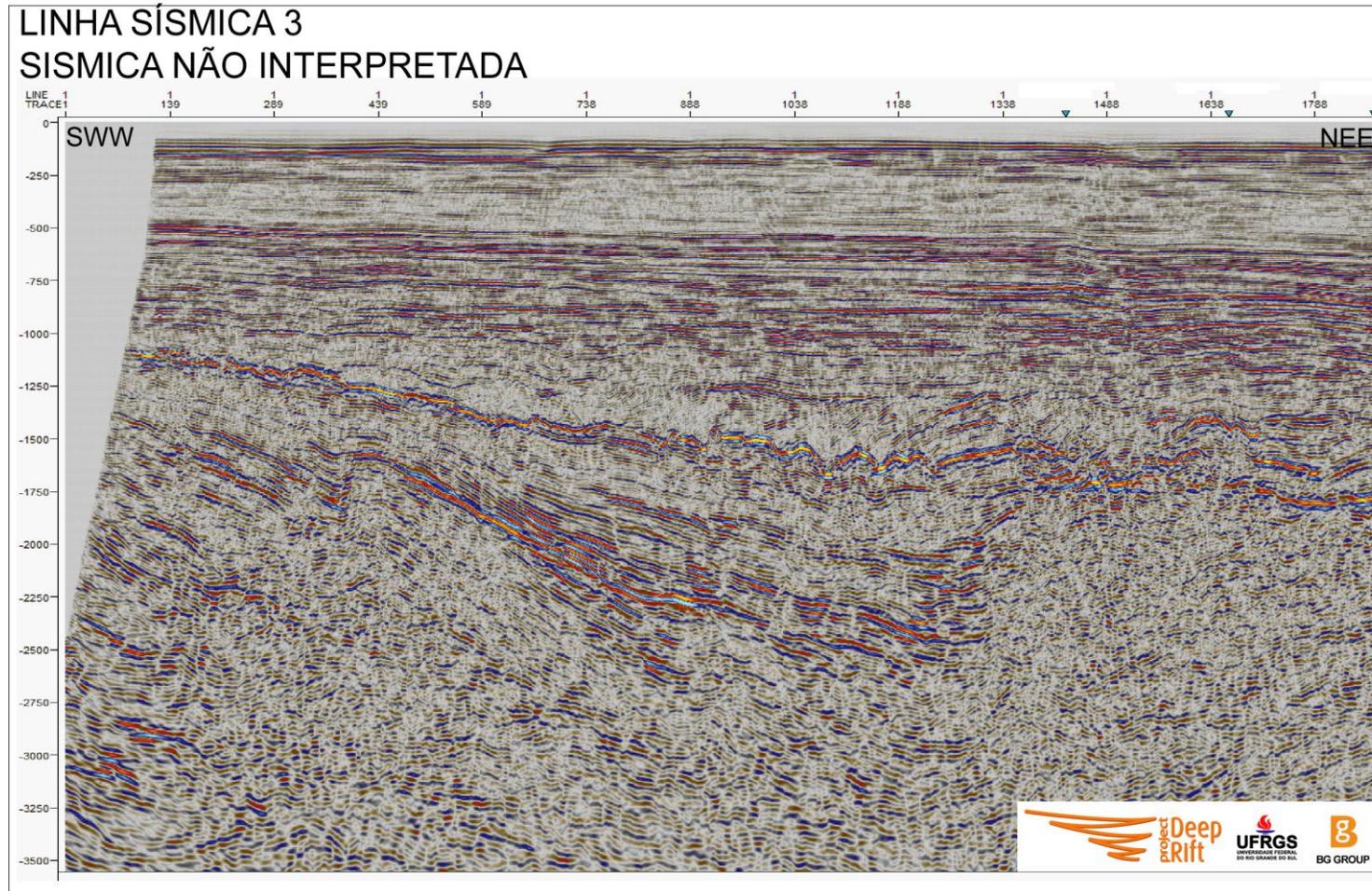


Figura 16. Composição sísmica 2D que serviu de base para interpretação sismoestratigráfica na Linha Sísmica 3..

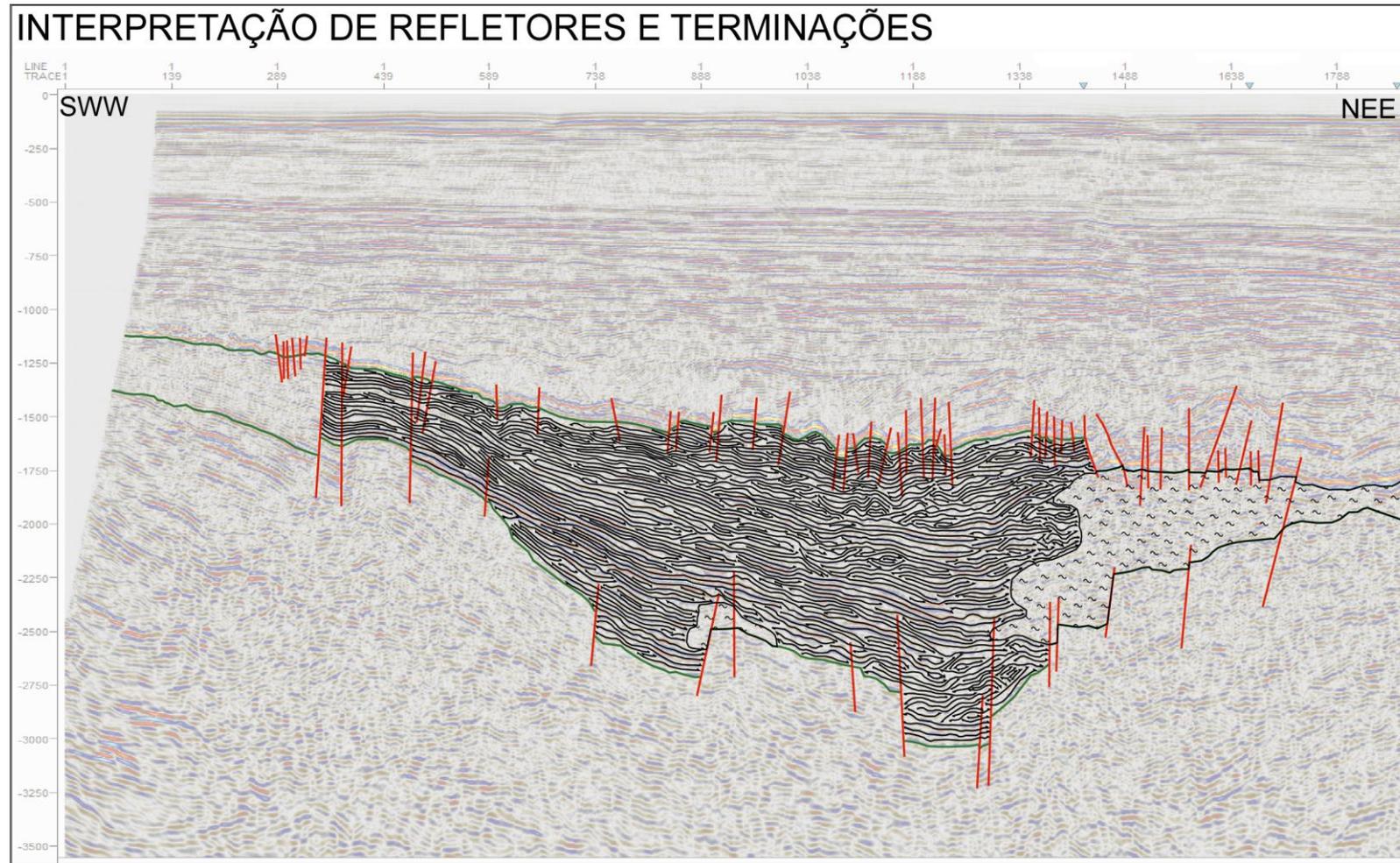


Figura 17. Interpretação completa dos refletores sísmicos e suas terminações na Linha Sísmica 3.

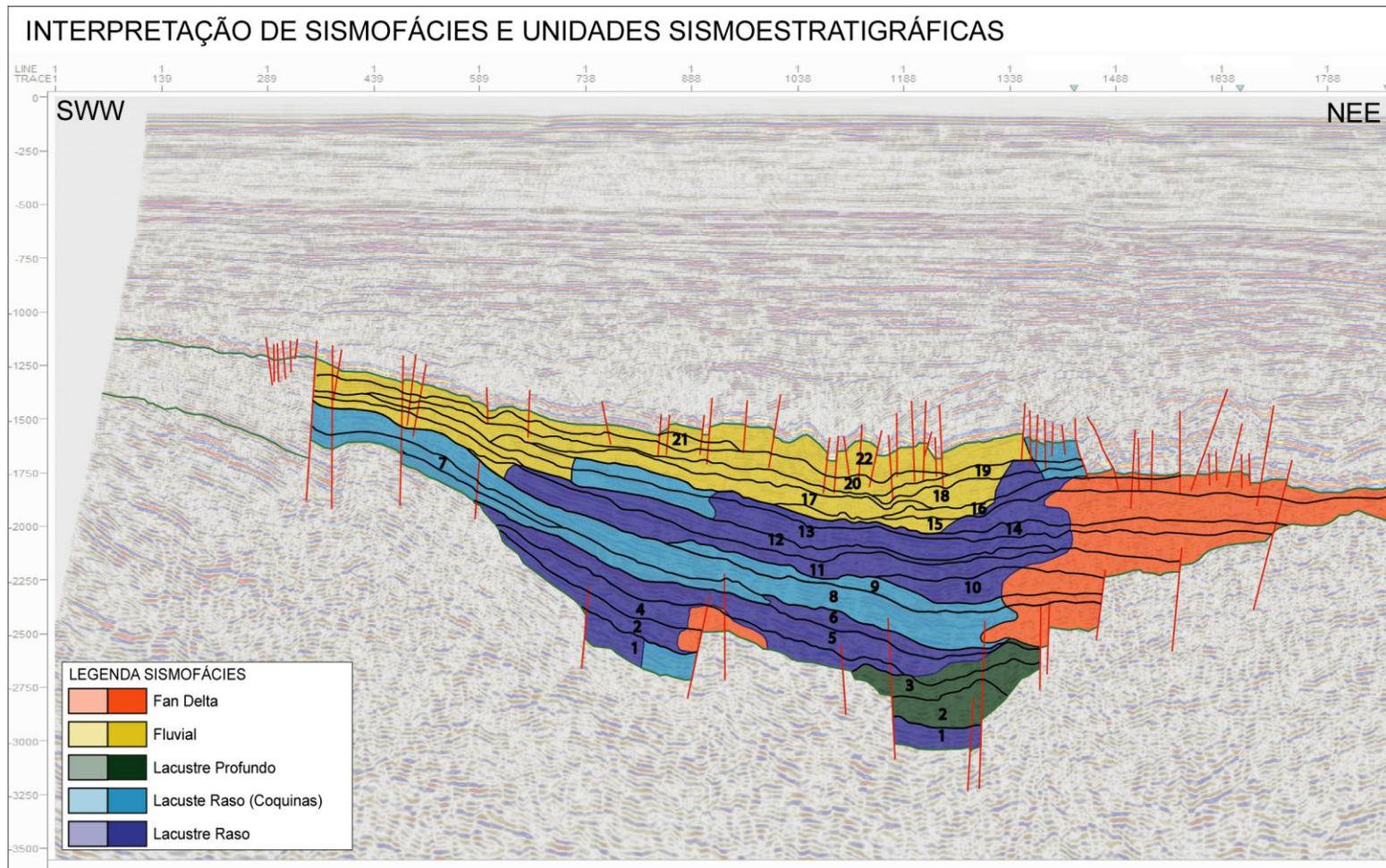


Figura 18. Divisão do Meio-Gráben em unidades sismoestratigráficas e representação das sismofácies na Linha Sísmica 3.

5.4. LINHA SÍSMICA 4

Esta linha sísmica tem orientação NNW-SSE e corta perpendicularmente as outras três linhas (Figura 19). Como está quase paralela ao eixo principal do meio-gráben, a falha de borda não se encontra visível nesta linha sísmica (já que é paralela à esta). O rastreamento detalhado dos refletores e a interpretação das unidades sismoestratigráficas não foi executado na Linha Sísmica 4 porque esta foi utilizada apenas para cruzar as informações das outras linhas sísmicas, bastando só a divisão em sismofácies. A divisão em unidades sismoestratigráficas não é necessária, visto que estas não possuem equivalência em nenhuma linha para serem correlacionadas.

Na Linha Sísmica 4 foi delimitado o início e o topo do meio-gráben e, posteriormente, foi feita apenas a individualização em sismofácies, conforme os critérios utilizados nas outras linhas sísmicas. A seguir, foi feito o cruzamento desta linha sísmica com as demais linhas, comparando com as sismofácies das mesmas, conforme visualizado na figura 20. Nesta linha sísmica foi possível visualizar as 5 sismofácies (lacustre raso, lacustre raso com coquinas, lacustre profundo, fluvial e conglomerados) representadas nas outras seções sísmicas.

A fase inicial do rifte, representada pelo Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte, é composta pelos basaltos da Formação Cabiúnas e não foi representada devido à falta de resolução sísmica, em profundidade, desta linha. A partir do cruzamento dos dados obtidos na interpretação das linhas *dip* (Linhas Sísmicas 1 a 3), observa-se na Linha Sísmica 4 os Tratos de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, de Clímax de Rifte e de Final do Rifte. Através do arranjo dos sistemas deposicionais, é possível visualizar um depocentro central com progradações vindas externamente à linha sísmica e das margens axiais.

No Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, é possível visualizar um ambiente lacustre raso sem coquinas. O comportamento dos refletores sugere uma progradação neste trato, pois eles estão terminando com discretos *onlaps* e *downlaps* sobre a mesma superfície (Figura 19).

Na parte central da bacia visualiza-se um sistema lacustre profundo avançando sobre um lacustre raso com coquinas, e os refletores sísmicos terminam em *downlaps* sobre os refletores inferiores, indicando assim um padrão geral retrogradacional neste trato.

O Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rife é composto por sistemas lacustres raso com e sem coquinas que recuam para o interior da bacia, seguido de um grande avanço do sistema fluvial sobre estes sistemas lacustres. Este trato também possui um padrão geral progradacional em direção à bacia. Com a intensa sedimentação na bacia neste trato, o meio-gráben é preenchido e termina a fase rife, passando para uma fase pós-rife, indicada pela discordância pós-rife (Figura 19).

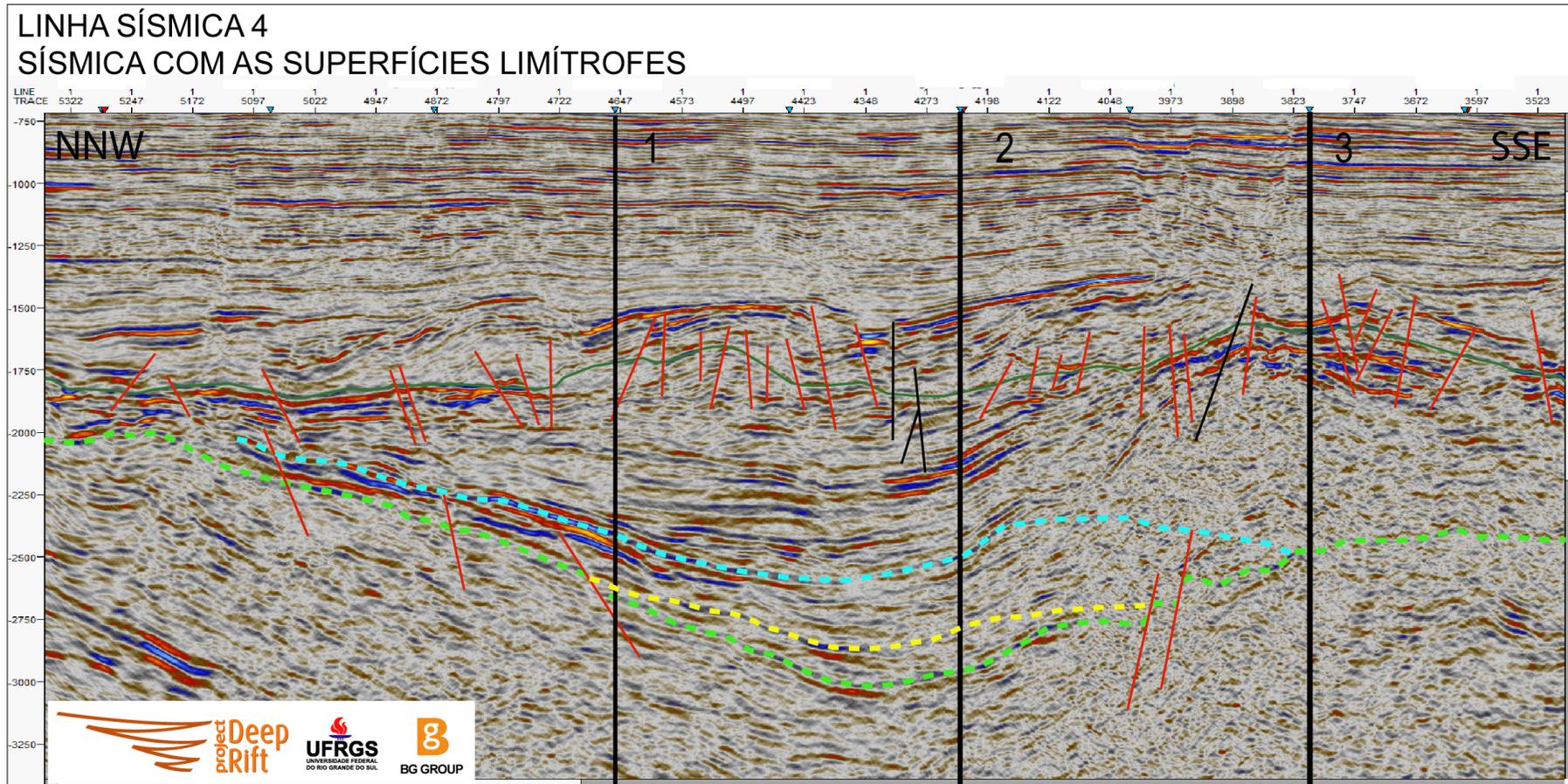


Figura 19. Linha Sísmica 4 (2D) não interpretada mostrando onde as Linhas Sísmicas 1, 2 e 3 a cortam. A figura ilustra também as superfícies limítrofes (superfícies de desenv. Meio-gráben, Clímax de Rife, Máximo Rifteamento e Discordância Pós-Rife, (de baixo para cima, respectivamente) que separam o meio gráben em Tratos de Sistemas Tectônicos.

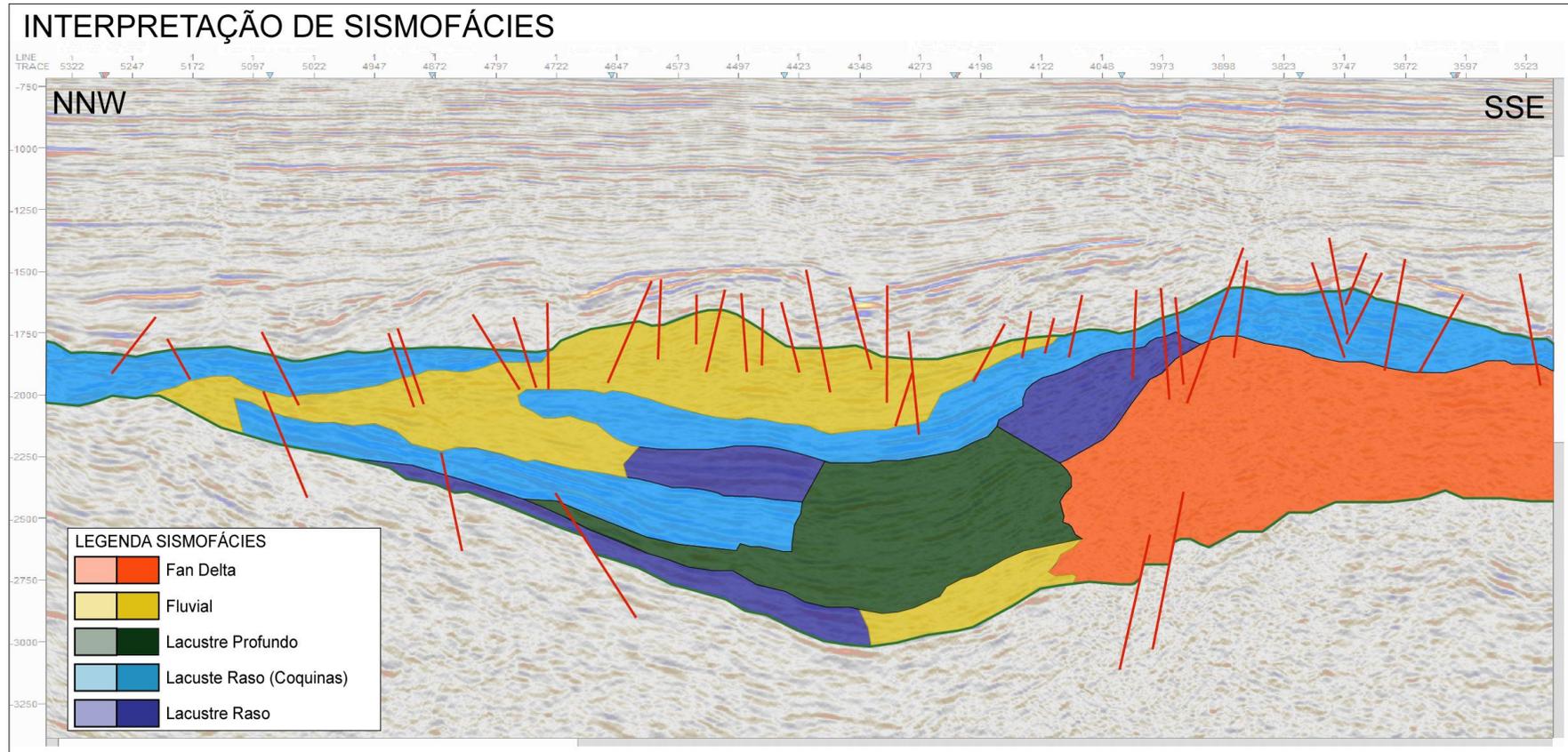


Figura 20. Representação das sismo fácies identificadas na Linha Sísmica 4 a partir da comparação com as linhas 1, 2 e 3.

5.5. MODELO INTEGRADO (MEIO-GRÁBEN)

As quatro linhas sísmicas interpretadas (Linhas Sísmicas 1 a 4) compõem um único meio-gráben. A partir da integração destas linhas, foi feito um modelo integrado do meio-gráben.

Na área de trabalho, a fase pré-rifte da Bacia de Campos é composta pelos gnaisses do Pré-Cambriano, não identificados nas seções sísmicas em estudo. Sendo assim, o pré-rifte não foi apresentado nas interpretações sismoestratigráficas.

O Trato Tectônico de Início do Rifte é composto pelos basaltos da Formação Cabiúnas, que se depositaram em uma ampla bacia rasa, composta por várias falhas normais de pequeno rejeito e sem um formato de meio-gráben. O pré-rifte não foi discriminado no arcabouço deste meio-gráben por falta de resolução sísmica.

Este meio-gráben tem seu início com a Superfície de Desenvolvimento do Meio-gráben, que corresponde a uma inundação na área central da bacia. A partir dela inicia-se o Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben. Neste trato a tectônica não é muito expressiva e a falha de borda não está bem desenvolvida, sem uma escarpa bem definida e, por conseguinte, a área deposicional não é muito grande, conforme se observa na Linha Sísmica 3 (Figura 17), em que o meio-gráben se inicia com dois pequenos grábens separados nessa seção. Com a evolução do processo de rifteamento, estes passam a se juntar, formando um único meio-gráben de maior extensão. Já nas Linhas Sísmicas 1 e 2 (Figuras 11 e 14), neste trato de sistemas desenvolveu-se somente um único gráben inicial. A geometria de meio-gráben já está definida neste trato, não estando porém no seu máximo desenvolvimento. As drenagens já começam a ser controladas pela forma de meio-gráben. Na margem flexural os sistemas fluvial e costeiro programam sobre os sedimentos lacustres. O padrão de empilhamento do Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio Gráben é no geral

progradacional, indicando uma taxa de aporte sedimentar maior que a taxa de acomodação. Entretanto, nas falhas que delimitam os pequenos grábens iniciais, não são observadas cunhas conglomeráticas, o que indica que as escarpas tinham pequenos rejeitos, corroborando com a ideia de uma fase de desenvolvimento da principal estrutura.

No Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben nessas seções sísmicas, a parte central da bacia é composta por refletores com baixa continuidade, algumas vezes um pouco caóticos, de baixa amplitude (Linha Sísmica 1) (Figura 11) e por vezes, com uma média amplitude (Linha Sísmica 2) (Figura 14), indicando sistemas fluviais e lacustres rasos distais. Na Linha Sísmica 3 (Figura 17) pode-se notar que ocorrem refletores caóticos e de amplitude média, indicando que nessa seção o meio-gráben está um pouco mais profundo, desenvolvendo um ambiente lacustre um pouco mais profundo que nas outras seções. Em direção à margem flexural os refletores são contínuos, com alta amplitude e paralelos, sendo interpretados como depósitos mais rasos, lacustres e deltaicos. Na margem flexural observa-se que os refletores terminam em discretos *onlaps* (Figura 21a), indicando um evento de inundação na área.

Nesta fase de desenvolvimento ocorre uma grande expansão da bacia. A Superfície de Clímax de Rife limita o topo desde trato de sistemas. O Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rife é iniciada com uma inundação na bacia e afogamento da margem flexural, e pelas primeiras progradações da cunha conglomerática (Figura 21b).

O Trato de Sistemas Tectônico de Clímax de Rife é marcado por um grande aumento da tectônica na bacia, chegando à máxima tectônica. Os refletores próximos à falha de borda encontram-se caóticos, com baixa continuidade e média amplitude, com um padrão divergente, podendo ser interpretados como depósitos de leques deltaicos (fan deltas) (Figura 21c). Esses depósitos de leques deltaicos estão associados com a atividade tectônica, e com o aumento da mesma eles avançam sobre o sistema lacustre profundo. A tectônica ocorre através de pulsos tectônicos. Quando ocorre um

pulso tectônico, a cunha conglomerática avança sobre o sistema lacustre profundo (Figura 21d). Entre esses pulsos, com a diminuição da atividade tectônica, ocorre um recuo dos conglomerados (Figura 21d). De modo geral, neste trato de sistemas observa-se um padrão progradacional da cunha conglomerática (Figura 21d) sobre os depósitos lacustres, devido à intensa atividade tectônica, com uma grande criação de espaço de acomodação e sedimentação intensa desta fase. Na Linha Sísmica 3 (Figura 17) se observa uma pequena cunha conglomerática no segundo meio-gráben, possivelmente produto de uma pequena falha de borda desenvolvida nesse estágio.

Na parte central da bacia o sistema lacustre profundo é representado por refletores predominantemente caóticos, com baixa continuidade lateral (Linha Sísmica 1) (Figura 11) ou sem continuidade lateral (Linhas 2 e 3) (Figuras 14 e 17), muitas vezes, apresentando cliniformas *hummocky* (Figura 21e), representadas por refletores de terminação dupla, que indicam sedimentos entrando axialmente ao meio-gráben. Estas feições podem também indicar escorregamentos (*slumps*), provenientes da falha de borda ou da margem flexural em direção ao centro da bacia. No sistema lacustre profundo há predominância da deposição de sedimentos finos, como folhelhos. Em direção à margem flexural, ocorrem refletores com moderada continuidade lateral, alta amplitude, com configuração plano-paralela e com terminação em *onlap* sobre a Superfície de Clímax de Rifte, indicando uma expansão do meio-gráben (Figura 21f). Este sistema é interpretado como sendo composto por depósitos costeiros rasos, associados a deltas lacustres e a praias (margem lacustre), onde encontramos as coquinas (Figura 22a), formadas pelo retrabalhamento de ondas. As coquinas são os principais reservatórios conhecidos da seção rifte. O topo deste trato é marcado por uma série de *toplaps* (Figura 22b) terminando sobre o limite superior desse trato. Esta é a Superfície de Máximo Rifteamento, que representa a máxima expansão do meio-gráben. Acima dela está o Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte.

No Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte ocorre uma diminuição da tectônica atuante na bacia, e, por consequência, os espaços criados, agora

em menores escalas, são preenchidos por sedimentos mais proximais, que progradam para o interior da bacia. Com essa diminuição da atividade tectônica, os conglomerados da falha de borda recuam, gerando um padrão retrogradacional dos leques deltaicos (fan deltas) próximos a falha de borda (Figura 22c). Concomitantemente, o sistema lacustre profundo sofre um recuo e os sistemas fluviais avançam para dentro da bacia, indicando uma progradação na margem flexural (Figura 22d). Esses sistemas fluviais predominam para o topo da bacia, resultando em uma série de truncamentos erosivos para o topo (Figura 22e).

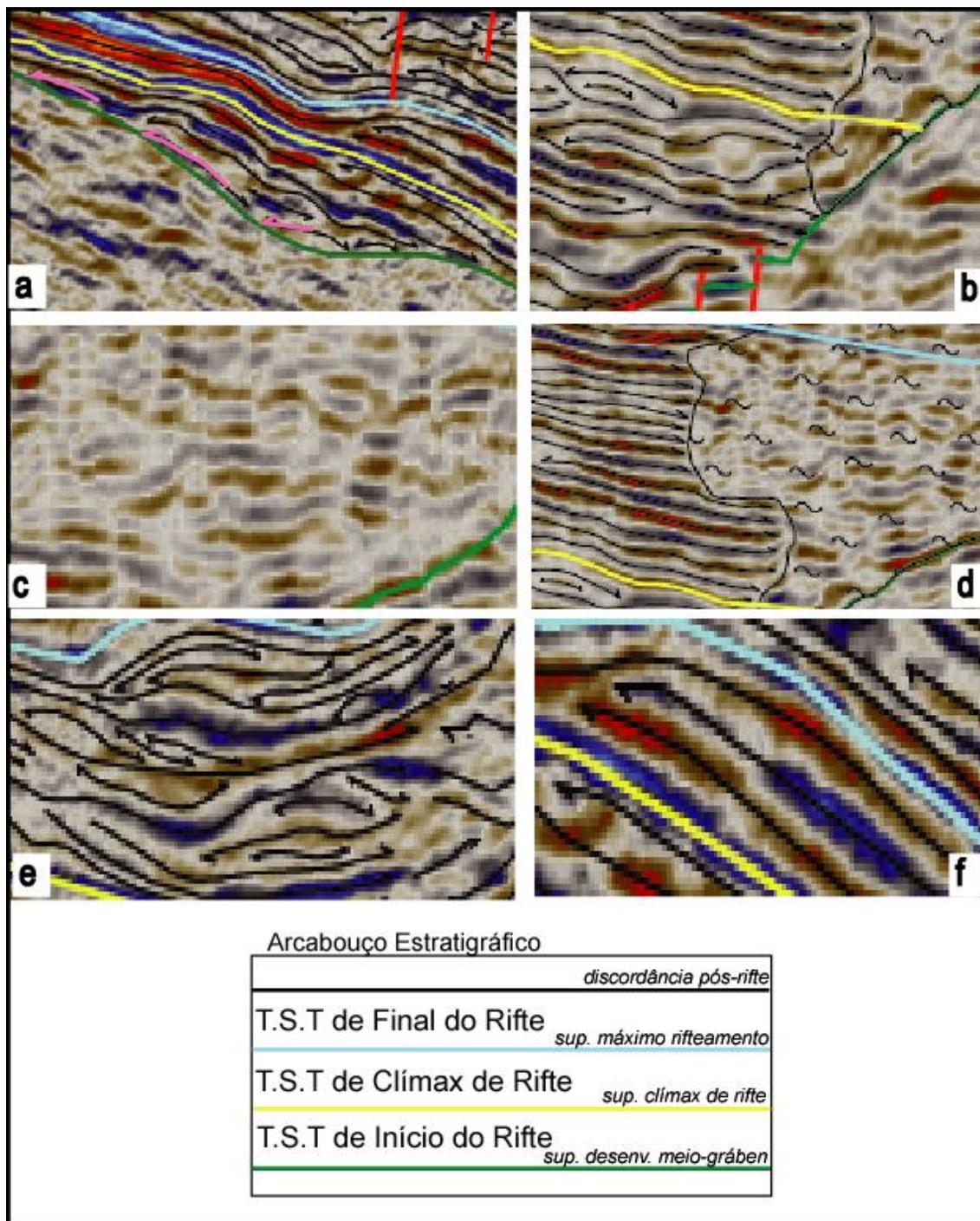


Figura 21. Figura em detalhe das composições sísmicas, ilustrando feições específicas (padrões de refletos, estruturas internas do meio-gráben, tratos de sistemas e superfícies limítrofes) em maior detalhe, conforme discriminado no texto.

Os sistemas lacustres rasos nesta fase possuem refletores contínuos, de alta amplitude e com padrão divergente para o centro da bacia (Linha Sísmica 2 e 3) (Figuras 14 e 17), e por vezes plano-paralelos (Linha Sísmica 1) (Figura 11), sugerindo um sistema lacustre costeiro. Os sistemas costeiros distais e fluviais possuem refletores pouco contínuos, de amplitude variável (desde alta até baixa), plano-paralelos. Este sistema fluvial prograda sobre o sistema lacustre costeiro, sendo visível este padrão progradacional na margem flexural. No topo dessa seção visualizam-se truncamentos erosivos (Figura 22e), marcando eventos erosionais na bacia, relacionados a uma baixa taxa de criação de espaço e alto aporte. Essa fase tem como limite inferior a Superfície de Máximo Rifting, onde ocorre a máxima expansão do meio-gráben, e a inversão dos padrões de empilhamento dentro do meio-gráben, passando de retrogradacional para progradacional na margem flexural e de progradacional para retrogradacional na falha de borda.

A diminuição da atividade tectônica na bacia ocorre devido ao reajuste final dos esforços distensivos, onde o estiramento da crosta continental é máximo e ela se rompe. Assim, ocorre o preenchimento de todo o meio-gráben, gerando uma discordância regional, a discordância pós-rifte (Figura 22f), que representa o início de um novo estágio tectônico (pós-rifte) da bacia.

A fase pós-rifte destas seções é composta por evaporitos e depósitos de rampas carbonáticas, sucedidos pelas megasequências pós-rifte descritas no capítulo de Geologia Regional da área.

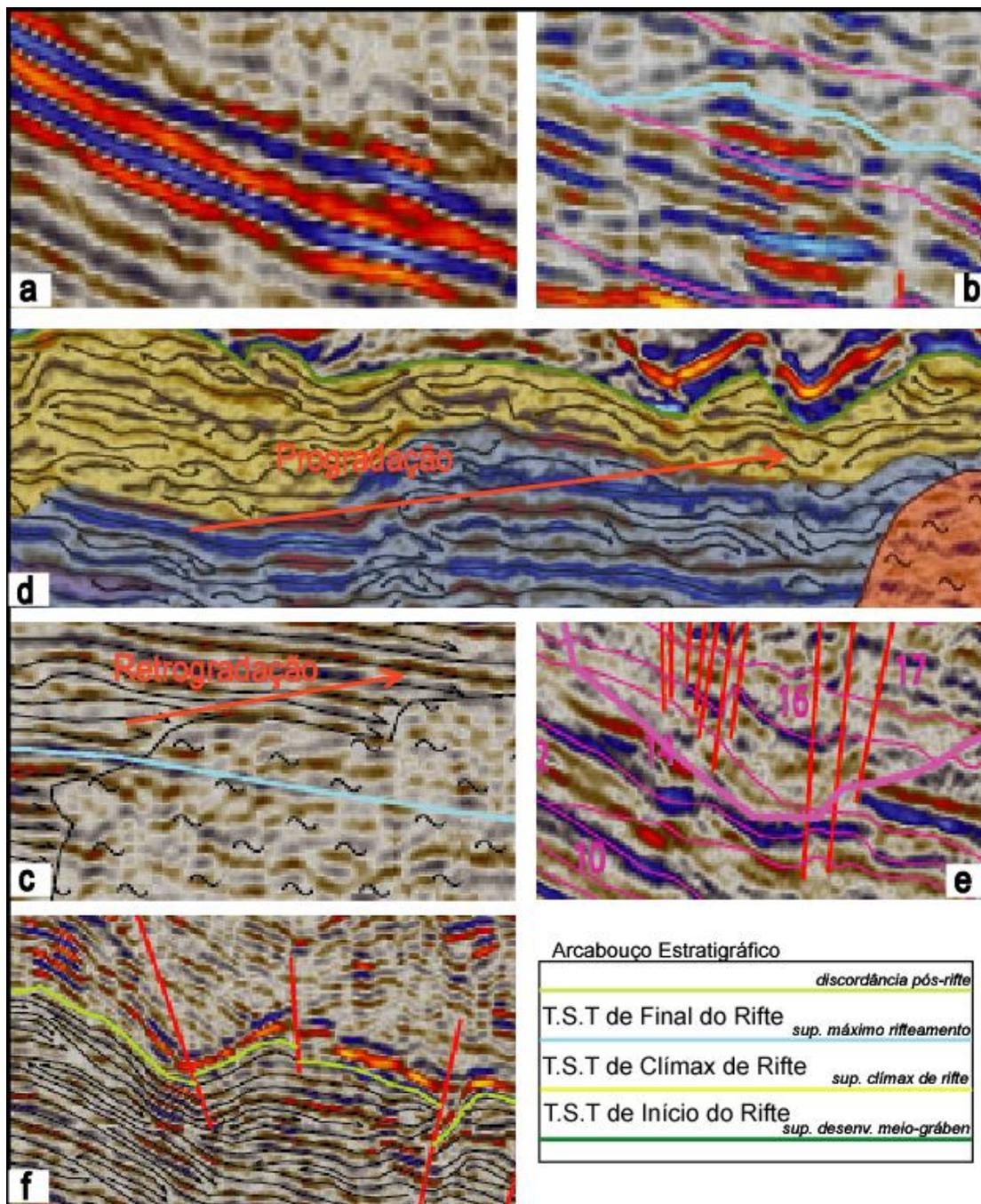


Figura 22. Figura em detalhe das composições sísmicas, ilustrando feições específicas (padrões de refletores, estruturas internas do meio-gráben, tratos de sistemas e superfícies limítrofes) em maior detalhe, conforme discriminado no texto.

Na Linha Sísmica 4, de orientação *strike* (ou seja, cortando perpendicularmente as outras linhas sísmicas *dip*), é possível observar as principais fácies sísmicas e como elas encaixam-se com as fácies sísmicas das

outras três seções estudadas, conforme representado na figura 23. Não foi possível visualizar a falha de borda na Linha Sísmica 4, visto que esta se encontra paralela à falha de borda. O arranjo dos sistemas deposicionais mostra um depocentro central com progradações vindas de fora da linha sísmica, e de ambas as margens axiais.

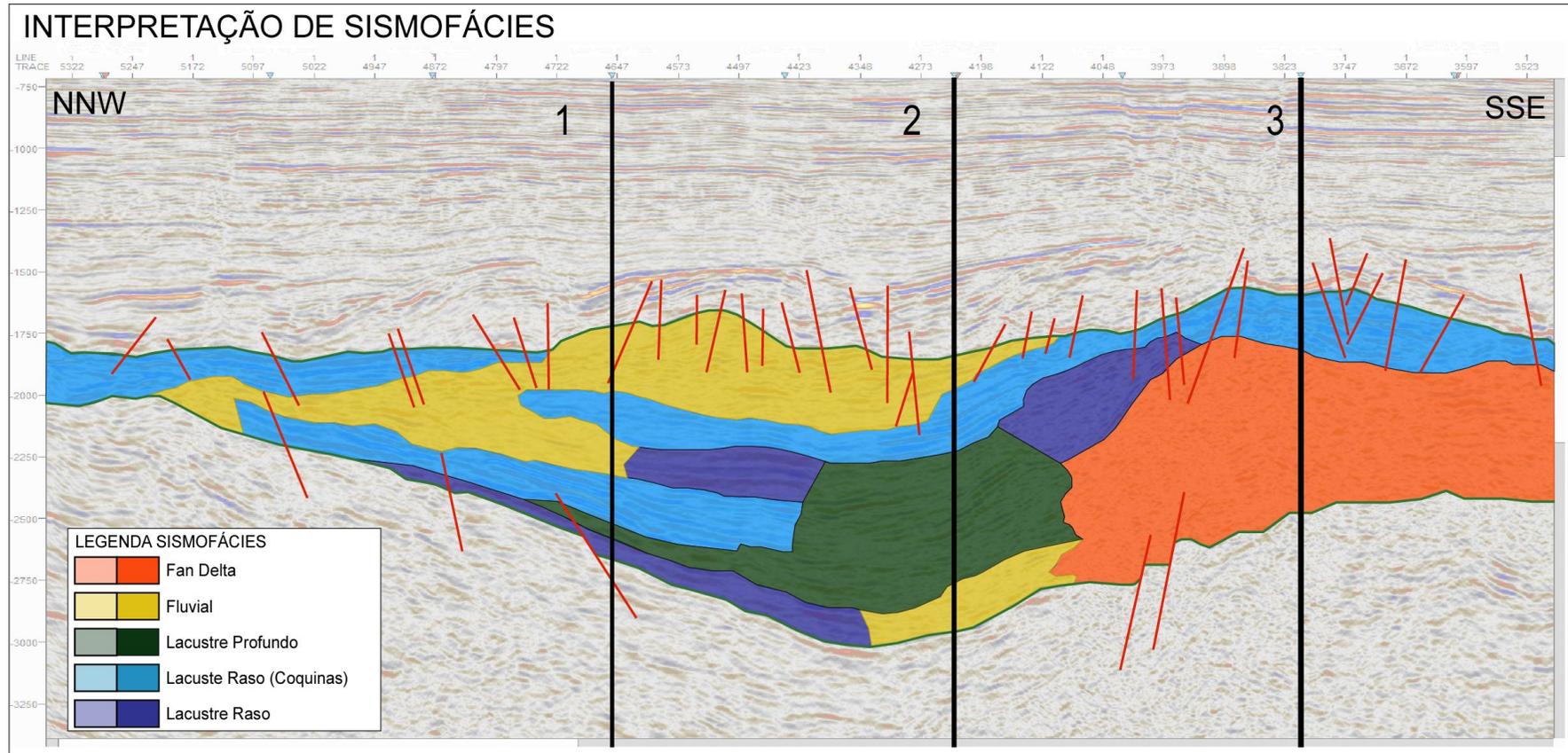


Figura 23. Linha Sísmica 4 com suas principais fácies sísmicas. É possível observar o local onde ela é cortada pelas outras três linhas sísmicas (1, 2 e 3).

5.6. UNIDADES SISMOESTRATIGRÁFICAS E DIAGRAMAS CRONOESTRATIGRÁFICOS

As unidades sismoestratigráficas individualizadas nestas seções sísmicas não possuem as mesmas idades geológicas, podendo umas representar um tempo deposicional maior que as outras. Elas foram individualizadas com base em critérios de terminação de refletores, em que o seu limite superior e inferior foi determinado por superfícies que possuíam o maior número de refletores terminando sobre ela. Adicionalmente, a delimitação de unidades sismoestratigráficas depende de resolução sísmica, o que pode variar de uma linha para outra, e do arranjo deposicional individual de cada linha (que ocorrem em porções distintas do mesmo meio-gráben), que pode ter maior detalhamento em determinadas linhas. Assim, pode-se observar que a Linha Sísmica 1 foi dividida em 21 unidades sismoestratigráficas, a Linha Sísmica 2 em 18 e a Linha Sísmica 3 em 22 unidades sismoestratigráficas. Conforme mencionado acima, as unidades sismoestratigráficas não foram delimitadas na Linha Sísmica 4 porque elas não possuem equivalência com as outras linhas sísmicas para serem correlacionadas. A figura 24 abaixo apresenta as unidades sismoestratigráficas componentes dos tratos de sistemas tectônicos nas Linhas Sísmicas 1, 2 e 3.

Através do empilhamento dessas unidades sismoestratigráficas foi possível construir um diagrama cronoestratigráfico para as seções sísmicas interpretadas, baseado em Vail *et. al.* (1977d). Apesar das unidades sismoestratigráficas interpretadas possuírem uma ordem, não foi possível determinar uma idade para as mesmas devido à ausência de dados bioestratigráficos ou radiométricos neste intervalo. Como dito anteriormente, essas unidades foram individualizadas conforme o comportamento dos refletores sísmicos, sendo os limites dessas unidades as superfícies rastreáveis.

Os diagramas cronoestratigráficos foram preenchidos por sistemas deposicionais interpretados nas seções sísmicas a partir das sismofácies,



apresentadas nas figuras 25, 26 e 27 (Linhas Sísmicas 1, 2 e 3, respectivamente).

N				S
	Intervalo dos Tratos de Sistemas Tectônicos	Linha Sísmica 1	Linha Sísmica 2	Linha Sísmica 3
	<i>discordância pós-rifte</i>			
	T. S. T. de Final do Rifte	11 - 21	7 - 18	10 - 22
	<i>sup. de máximo rifteamento</i>			
	T. S. T. de Clímax de Rifte	6 - 10	3 - 6	4 - 9
	<i>superfície de clímax de rifte</i>			
	T. S. T. de Desenvolv. Meio-Gráben	1 - 5	1 - 2	1 - 3
	<i>superfície de desenvolv. m-gráben</i>			
	T. S. T. de Início do Rifte	Cabiúnas	Cabiúnas	Cabiúnas
	<i>discordância sin-rifte</i>			

Figura 24. Figura ilustrando as unidades sismoestratigráficas componentes dos Tratos de Sistemas Tectônicos para cada Linha Sísmica e as superfícies que separam os referidos tratos.

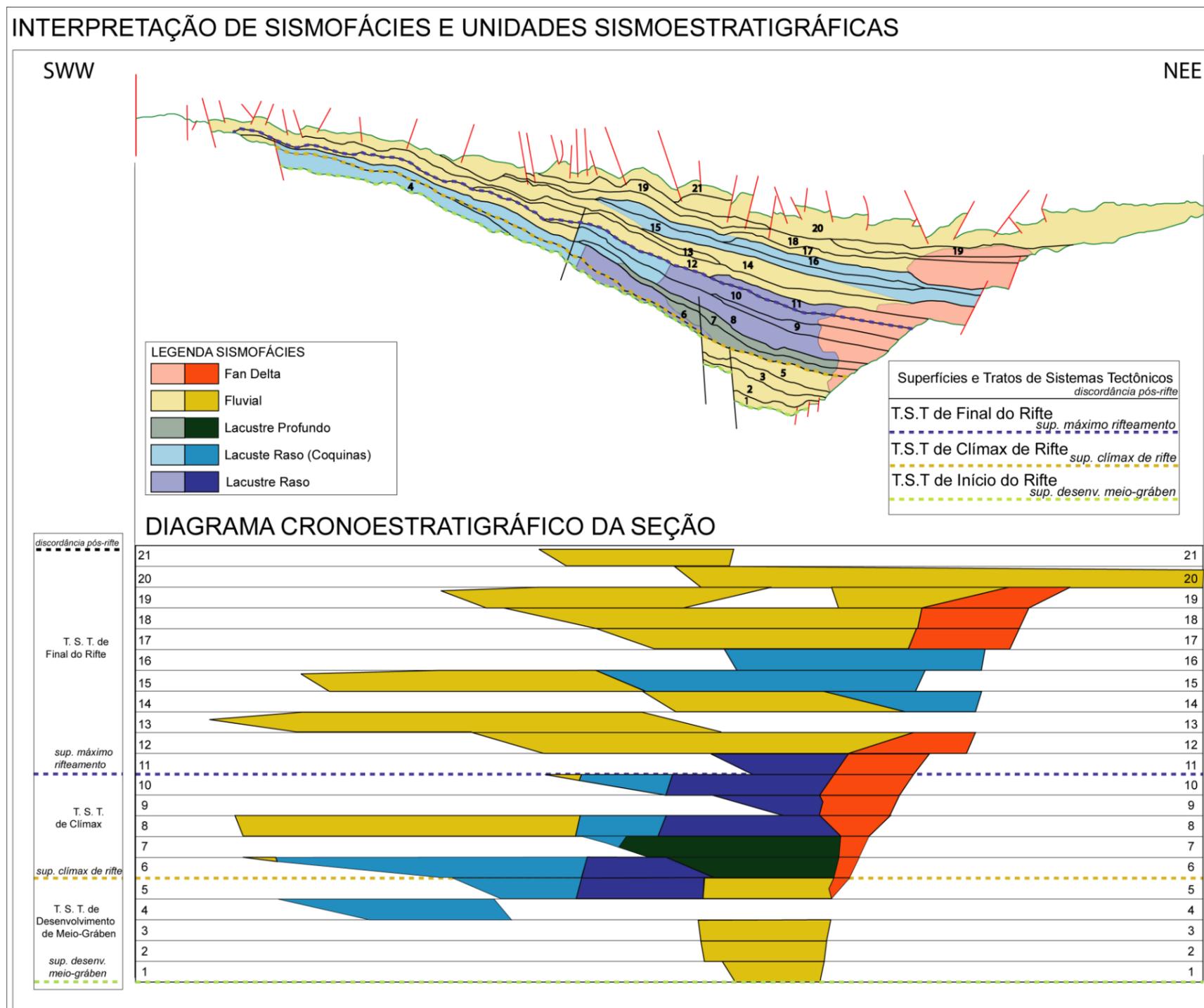


Figura 25. Diagrama cronoestratigráfico da Linha Sísmica 1, com seus sistemas deposicionais, divisão em unidades sismoestratigráficas, tratos de sistemas tectônicos e as superfícies limítrofes. Para visualização em maior detalhe, favor consultar Anexo 1.

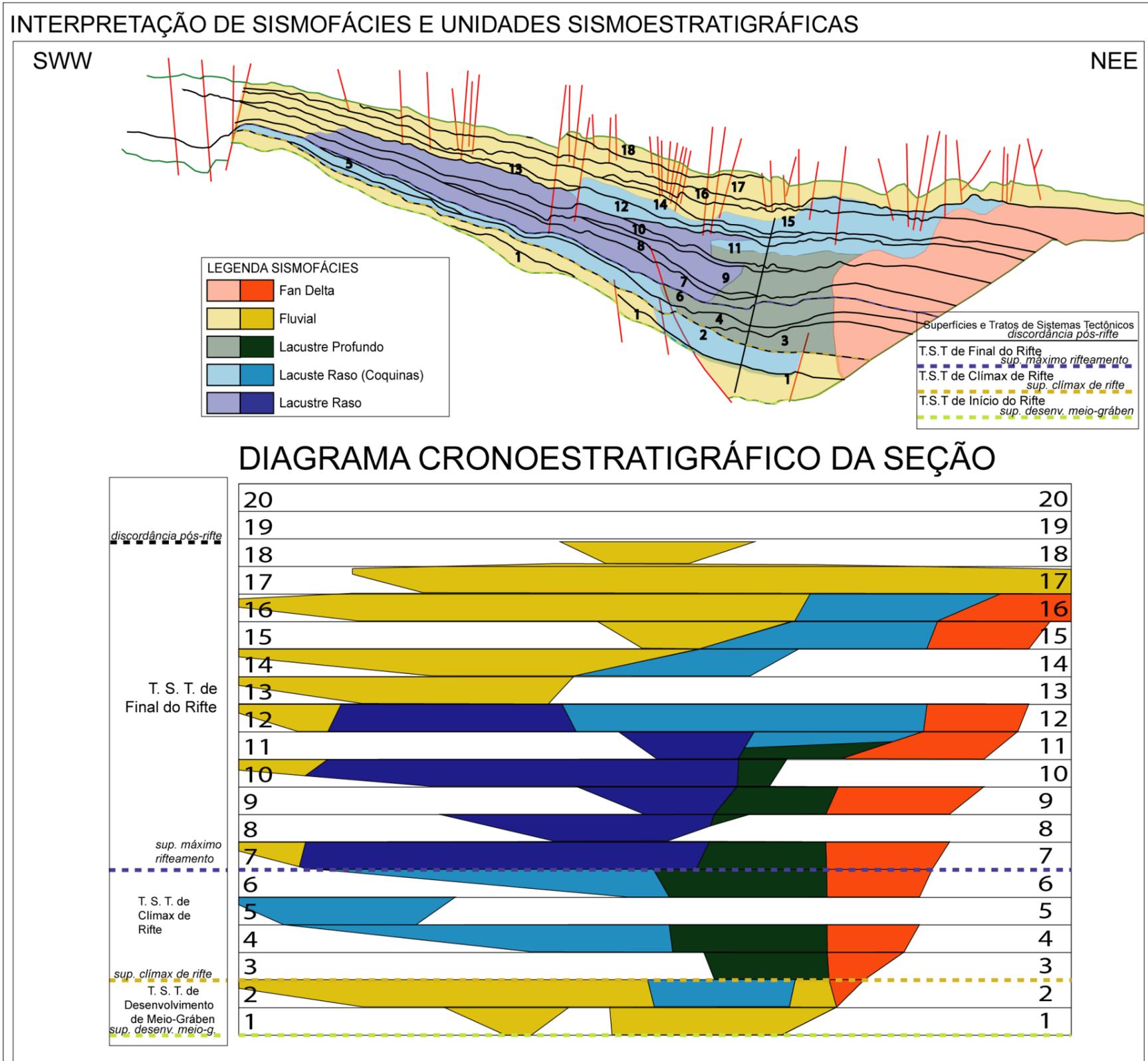


Figura 26. Diagrama cronoestratigráfico da Linha Sísmica 2, com seus sistemas deposicionais, divisão em unidades sismoestratigráficas, tratos de sistemas tectônicos e as superfícies limítrofes. Para visualização em maior detalhe, favor consultar Anexo 2.

INTERPRETAÇÃO DE SISMOFÁCIES E UNIDADES SISMOESTRATIGRÁFICAS

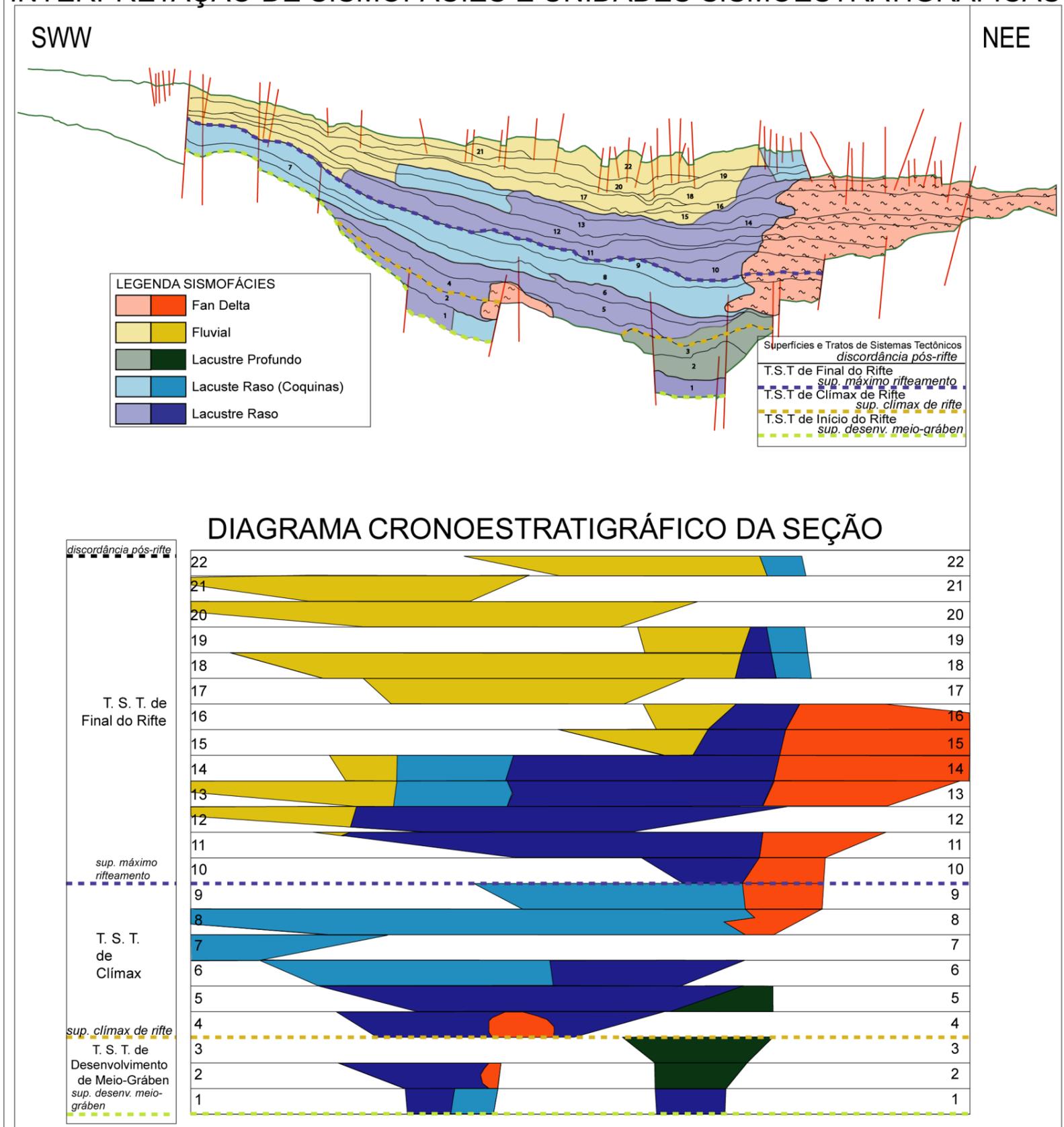


Figura 27. Diagrama cronoestratigráfico da Linha Sísmica 3, com seus sistemas deposicionais, divisão em unidades sismoestratigráficas, tratos de sistemas tectônicos e as superfícies limítrofes. Para visualização em maior detalhe, favor consultar Anexo 3.

5.7. MODELO TRIDIMENSIONAL DA ÁREA DE ESTUDO

A importância da utilização da sísmica na exploração e desenvolvimento de reservatórios de hidrocarbonetos deve-se à sua grande abrangência em área aliada a evolução contínua no avanço das tecnologias. O desenvolvimento de tecnologias nas áreas de aquisição, processamento e interpretação dos dados sísmicos, aliado aos estudos das relações entre propriedades sísmicas e condições ambientais, tornaram essa técnica uma poderosa ferramenta de exploração e caracterização de reservatórios de petróleo.

Para a indústria petrolífera as interpretações sísmicas são de extrema importância devido à sua maior precisão na localização das reservas de óleo/gás, podendo também avaliar o conteúdo do reservatório como a viabilidade de exploração.

Partindo das interpretações feitas neste trabalho, a partir da interpretação sismoestratigráfica detalhada e completa de três linhas dip, com correlação a partir de uma linha strike, e por fim o estabelecimento de um arcabouço estratigráfico para o meio-gráben em estudo, foi possível criar um modelo 3D da área de estudo (Figuras 28 a 34). Este modelo foi criado através do *software* Petrel, com o cruzamento das linhas sísmicas 2D e visa um melhor detalhamento da área de estudo para poder contribuir no modelo exploratório que está sendo criado para a Bacia.

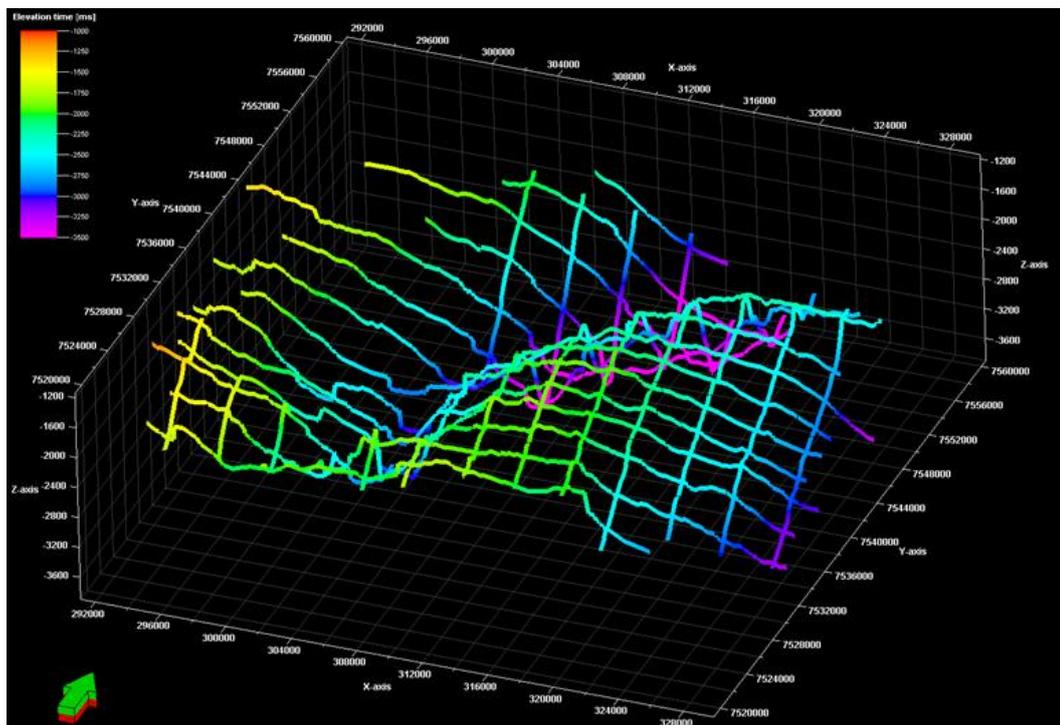


Figura 28. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D. Ilustração da Superfície de desenvolvimento de Meio-Gráben.

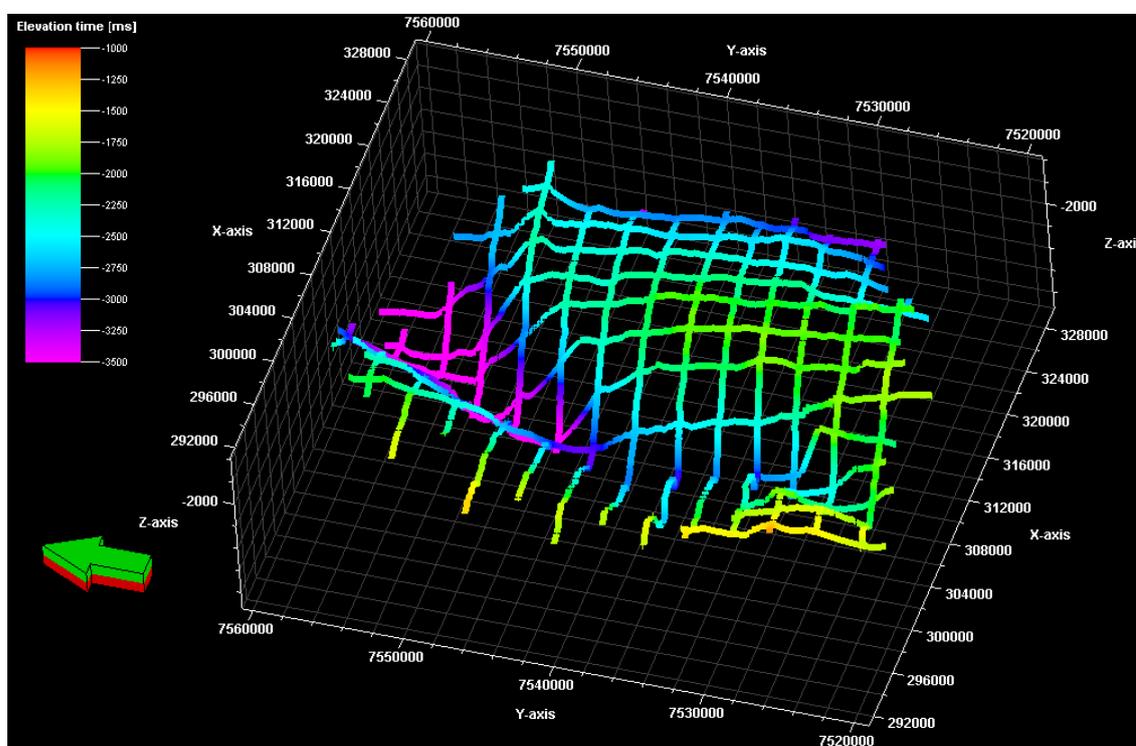


Figura 29. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D em outra perspectiva. Ilustração da Superfície de desenvolvimento de Meio-Gráben.

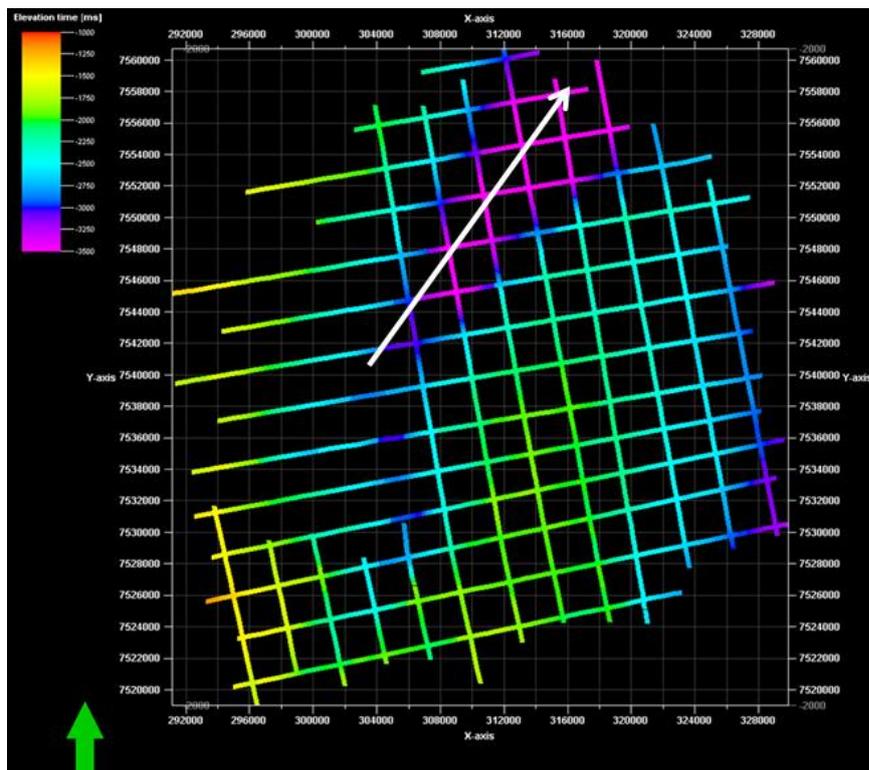


Figura 30. Visualização do modelo 3D da área de estudo em planta a partir das Superfícies de desenvolvimentos de Meio-Gráben das linhas sísmicas 2D. A flecha indica a direção da parte mais profunda do meio-gráben.

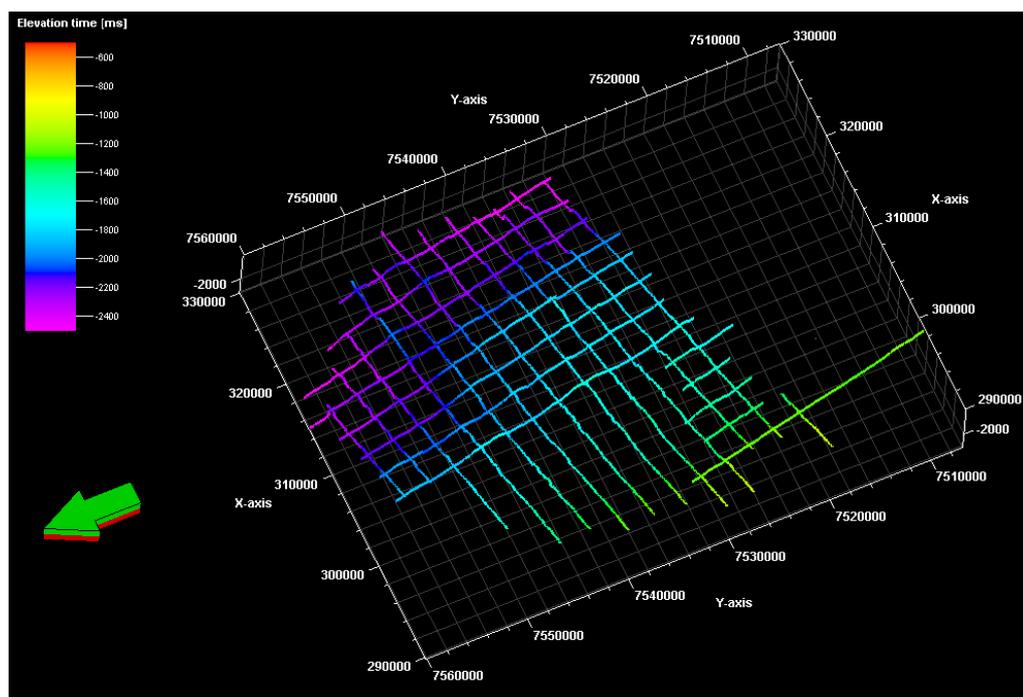


Figura 31. Discordância pós-rifte, marcando o topo do rifte no modelo 3D da área.

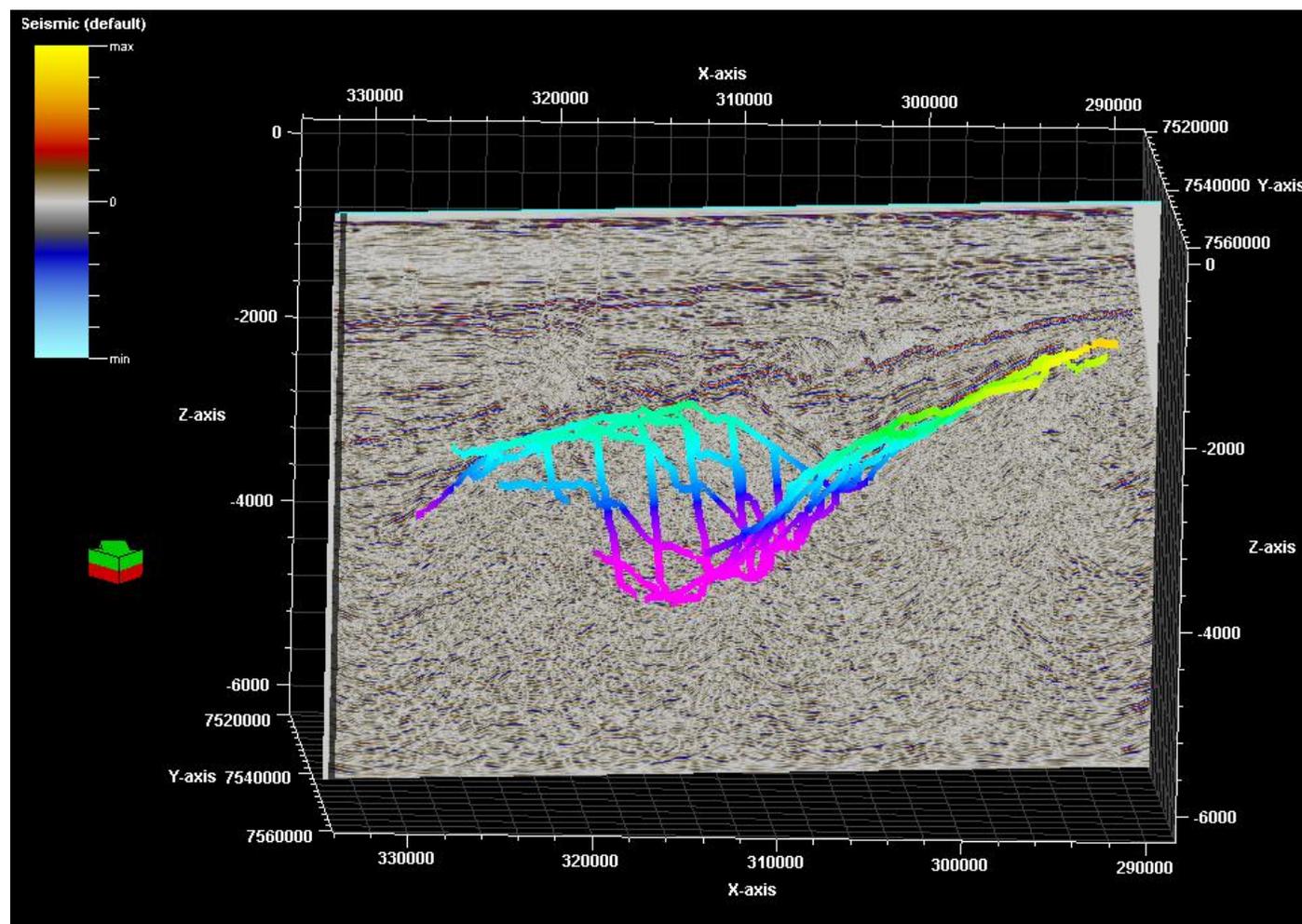


Figura 32. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D, mostrando onde a Linha Sísmica 2 corta o meio-gráben.

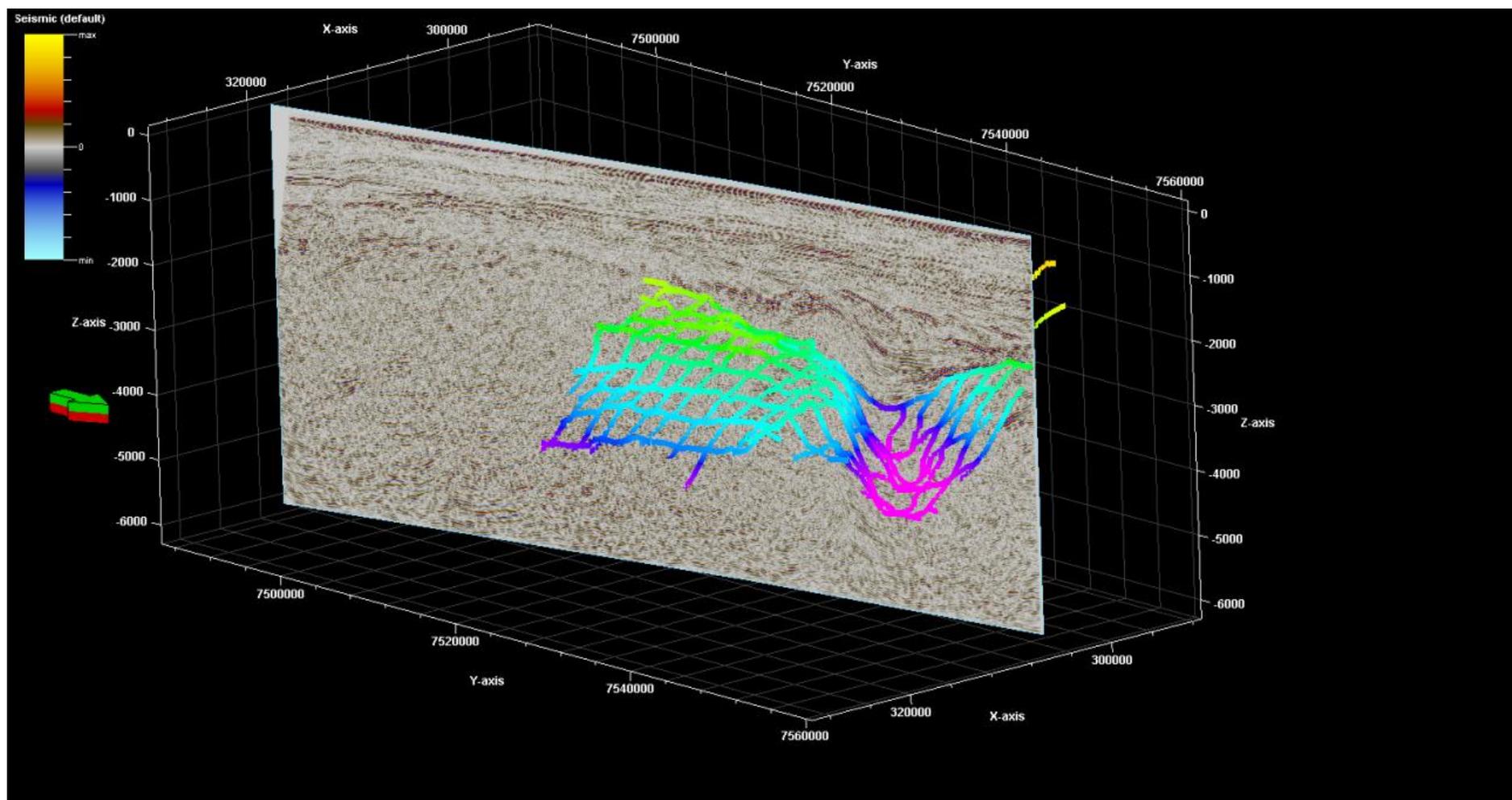


Figura 33. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D, mostrando o onde a Linha Sísmica 4 corta o meio-gráben.

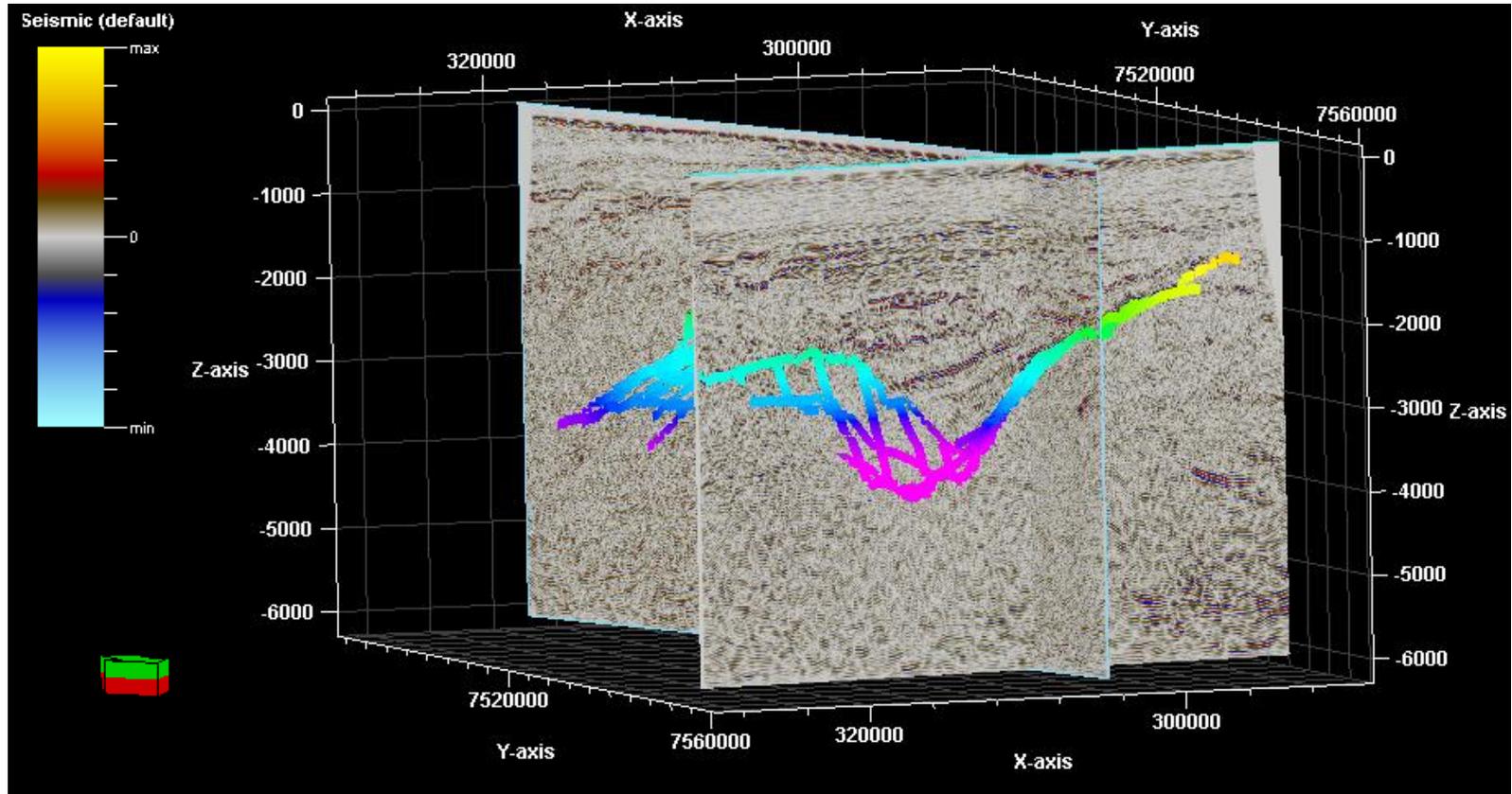


Figura 34. Modelo 3D da área de estudo a partir das linhas sísmicas 2D, mostrando o local onde as Linhas Sísmicas 1 e 4 estão se cruzando no meio-gráben em estudo.

6. CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação dos métodos de interpretação sismoestratigráfica adotados neste trabalho, integrada a modelos propostos na bibliografia sobre rifte e sismoestratigrafia, permitiu a construção de um modelo evolutivo integrado de um meio-gráben componente do sistema rifte da Bacia de Campos.

Através da identificação da terminação dos refletores, da individualização em unidades sismoestratigráficas, e em sismofácies, foi possível dividir as seções sísmicas estudadas em Tratos de Sistemas Tectônicos, oferecendo uma melhor compreensão dos padrões estratais, definindo o arcabouço sismoestratigráfico do meio-gráben, a geometria dos seus depósitos e como ocorreu preenchimento dessa calha rifte.

O modelo criado por Kuchle & Scherer (2010) e utilizado como base deste trabalho se mostrou satisfatório em sua aplicabilidade. Assim, foi possível individualizar 21 unidades sismoestratigráficas na Linha Sísmica 1, 18 unidades sismoestratigráficas na Linha Sísmica 2 e 22 unidades sismoestratigráficas na Linha Sísmica 3. Essas unidades sismoestratigráficas compreendem três Tratos de Sistemas Tectônicos no meio-gráben em estudo: Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben, Trato de Sistemas de Clímax do Rifte, Trato de Sistemas de Final do Rifte. O Trato de Sistemas Tectônico de Início do Rifte foi interpretado como preenchido pelos basaltos da Formação Cabiúnas, mas sua caracterização no nível de detalhe dos tratos de sistemas tectônicos subjacentes não foi possível devido a limitações da resolução sísmica em

profundidade. O Trato de Sistemas Tectônico de Desenvolvimento de Meio-Gráben é composto por sistemas lacustres rasos, por vezes sistemas fluviais, indicando uma fase ainda pouco desenvolvida do meio-gráben, dominada por ambientes mais rasos. O Trato de Sistemas de Clímax do Rifte, por sua vez, é caracterizado por uma atividade tectônica intensa na bacia e, por conseguinte, criação de um grande espaço de acomodação com aporte sedimentar ainda reduzido, levando ao desenvolvimento de ambientes mais profundos. A falha de borda nessa fase apresenta grandes rejeitos, fornecendo sedimentos grossos para o interior da bacia e criando um padrão geral progradacional dos conglomerados provenientes da borda falhada. Já na margem flexural, os sistemas lacustres mais profundos progradam sobre os mais rasos, gerando um padrão retrogradacional na margem flexural nesta fase. O Trato de Sistemas Tectônico de Final do Rifte é marcado pela diminuição da atividade tectônica na bacia e consequente diminuição do espaço de acomodação, logo preenchido pelo grande aporte sedimentar nesta fase. A falha de borda diminui sua atividade dentro da bacia, levando ao estabelecimento de um padrão retrogradacional da cunha conglomerática adjacente à mesma. Na margem flexural ocorre o domínio de sistemas fluviais sobre os lacustres, indicando um padrão progradacional da margem flexural. Por fim, a fase pós-rifte compreende a seção de evaporitos e depósitos das megasequências de rampa carbonática, e margem passiva transgressiva-regressiva. O empilhamento das unidades sismoestratigráficas e as relações entre os sistemas deposicionais foram também representados em um diagrama cronoestratigráfico.

Este trabalho representa uma pequena parte de toda a Bacia, na qual a evolução sismoestratigráfica de uma calha rifte foi detalhada. Para uma visão mais ampla da Bacia de Campos no que diz respeito às feições estruturais e estratigráficas, é necessário ampliar os estudos para uma área de maior abrangência, integrando as informações obtidas nos vários meio-grábens componentes do rifte de Campos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barboza, E. G., 2005. Análise Estratigráfica do Campo de Namorado (Bacia de Campos) com base na Interpretação Sísmica Tridimensional – Tese de Doutorado, UFRGS.

Bertani, R.T., 1984. Microfacies, depositional models and diagenesis of Lagoa Feia Formation (Lower Cretaceous), Campos Basin, Offshore Brasil: Ph.D. thesis, University of Illinois at Urbana-Champaign, 199p.

Bosence, D.W.J., 1998. Stratigraphic and sedimentological models of rift basins. In: Purser, B.H.; Bosence, D.W.J. Sedimentation and Tectonics of Rift Basins: Red Sea, Gulf of Aden. London: Chapman e Hall, P. 9-25.

Brown, L.F., Fisher, W.L., 1977. Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins. In: PAYTON, C.E. (Ed.) Seismic stratigraphy: applications to hydrocarbon exploration. AAPG, Memoir 26, Tulsa, p. 213-248.

Brown Jr., L.F., Fisher, W.L., 1980. *Seismic-stratigraphic Interpretation and Petroleum Exploration*. Austin, AAPG. 125p. (Continuing education course note series # 16).

Bruhn, C.H.L., 1998. Deep-water reservoirs from the eastern Brazilian rift and passive margin basins. In: M. Carminatti (Editor), AAPG International

Conference and Exhibition. Short Courses. The American Association of Petroleum Geologists, Rio de Janeiro, pp.187.

Cainelli, C., Mohriak, W.U., 1998. Some remarks on the evolution of sedimentary basins along the eastern Brazilian continental margin. Rio '98 AAPG International Conference.

Chang, H.K., Kowsmann, R.O., Figueiredo, A.M.F., 1988. New concepts on the development of East Brazilian marginal basins. *Episodes*, 11: 194-202.

Dias, J.L., Scarton, J.L., Esteves, F.R., Carminatti, M., Guardado, L.R., 1990. Aspectos da evolução tectono-sedimentar e a ocorrência de hidrocarbonetos na Bacia de Campos. In: G.P. Rajagabaglia and E.J. Milani (Editors), *Origem e Evolução de Bacias Sedimentares*. PETROBRAS/DIVEN, Rio de Janeiro, RJ, pp. 333-360.

Embry, A., 2007. Sequence Stratigraphy as a "Concrete" Stratigraphic Discipline. Report of the ISSC Task Group on Sequences Stratigraphy. 104 pg.

Emery, D., Myers, K., 1996. *Sequence Stratigraphy*. Oxford, Blackwell Scientific Company, 297p.

Figueiredo, A.M.F., Mohriak, W.U., 1984. A tectônica salífera e as acumulações de petróleo na Bacia de Campos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro. *Anais Rio de Janeiro, SBG*, v. 3., p. 1380-1384.

Gawthorpe, R.L., Leeder, M.R., 2000. Tectono-sedimentary evolution of active extensional basins. *Basin Research*, v. 12, p. 195-218.

Guardado, L.R., Gamboa, L.A.P., Lucchesi, C.F., 1990. Petroleum Geology of the Campos Basin, Brazil: a model for an Atlantic type basin. In: J.D. Edwards and P.A. Santogrossi (Editors), *Divergent/Passive Margin Basins*.

AAPG Memoir. The American Association of Petroleum Geologists, Tulsa, Oklahoma, pp. 3-79.

Guardado, L.R., Spadini, A.R., Brandão, J.S.L., Mello, M.R., 2000. Petroleum system of the Campos Basin, in Mello, M.R., Katz, B.J., eds., Petroleum systems of South Atlantic margins: AAPG Memoir 73: 317-324.

Kuchle, J., Scherer, C.M.S. 2010. Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, modelos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.18, n. 2, p. 33-60, maio/nov.

Martins, F.D.A.L., Sad, A.R.E., Scarton, J.C., Oliveira, J.Q., Moreira, J.L.P., 1990. Mapeamento regional dos turbiditos da Bacia de Campos: do Neo-Albiano ao Mioceno, 4th Brazilian Petroleum Congress. Instituto Brasileiro do Petróleo, Rio de Janeiro, pp. TT-208,9p.

Martins-Neto, M.A., Catuneanu, O., 2010. Rift sequence stratigraphy. Marine and Petroleum Geology, Guildford, v. 27, p. 247-253.

Milani, E.J., Brandão, J.A.S.L., Zalán, P.V. & Gamboa, L.A.P., 2001. Petróleo na Margem Continental Brasileira: Geologia, Exploração, Resultados e Perspectivas. Revista Brasileira de Geofísica, vol. 18(3).

Mitchum Jr., R.M., Vail, P.R., Sangree, J. B., 1977a. 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. Tulsa, AAPG, 117-133 (Memoir # 26).

Mitchum Jr., R.M., Vail, P.R., Thompson III, S., 1977b. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: The depositional sequence as a basic unit for stratigraphy analysis. In: Payton, C.E. (ed.). Seismic Stratigraphy - Applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa, AAPG, 53-62 (Memoir # 26).

Moraes, M.A.S., 1989. Diagenetic evolution of Cretaceous-Tertiary turbidite reservoirs, Campos Basin, Brazil. *The American Association of petroleum Geologists Bulletin*, 73, 5, 598-612.

Morley, C.K., 2002. Evolution of large normal faults: Evidence from seismic reflection data. *AAPG Bulletin*, Tulsa, v. 86, n. 6, p. 961-978.

Ponte, F.C., Asmus, H.E., 1978. Geological framework of the Brazilian continental margin. *Geol. Rundsch.*, 68: 201-235.

Posamentier, H.W., Jervey, M.T., Vail, P.R., 1998. Eustatic controls on clastic deposition I – conceptual framework. In: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.ST.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (Ed.) *Sea-level changes: an integrated approach*. Society for Sedimentary Geology, Tulsa, p. 109-124. (SEPM Special Publication, 42).

Prosser, S. 1993. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. In: Williams, G.D., Dobb, A. (Eds.), *Tectonics and Seismic Sequence Stratigraphy*. Geological Society Special Publication 71, pp. 35-66.

Rangel, H.D., Martins, C.C., 1998. Principais Compartimentos Exploratórios – Bacia de Campos. In: Schlumberger – PETROBRAS (Editor), *Searching for oil and gas in the land of giants*, pp. 32-40.

Ribeiro, H. J. P. S. (org.) 2001. *Estratigrafia de Seqüências: Fundamentos e Aplicações*, Ed. Unisinos, São Leopoldo, RS, 481p.

Schaller, H., 1973. Estratigrafia da Bacia de Campos, *in Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Geologia*, Aracaju-SE: Sociedade Brasileira de Geologia, v. 3, p. 247-258.

Vail, P.R., 1987. Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1 Seismic stratigraphy interpretation procedure. In: *Atlas of Seismic Stratigraphy*, American Association of Petroleum Geologists. *Studies in Geology* (1): 10. Tulsa. USA.

Vail, P.R., Todd, R.G. & Sangree, J.B., 1977b. Seismic Stratigraphy and Global Changes of Sea Level, Part 5: Chronostratigraphy Significance of Seismic Reflections. In: Payton, C. E. (ed.). Seismic Stratigraphy – Applications to Hydrocarbon Exploration. Tulsa, *AAPG Memoir 26*, p. 99-116.

Van Wagoner, J.C., Mitchum JR., R.M., Campion, K.M., Rahmanian, V.D., 1990. Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high resolution correlation of time and facies. AAPG, Tulsa, 55p. (Methods in Exploration Series, 7).

Winter, W.R., Jahnert, R.J., França, A.B., 2007. Bacia de Campos. Boletim de Geociências da Petrobrás, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.511-529, maio/Nov.



ANEXOS
