



BÁRBARA ALBUQUERQUE BRAMRAITER

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DO VOLUME SÍSMICO 3D
FAZENDA CEDRO NO INTERVALO APTIANO DO MEMBRO MUCURI,
BACIA DO ESPÍRITO SANTO**

PORTO ALEGRE

2017

BÁRBARA ALBUQUERQUE BRAMRAITER

**ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DO VOLUME SÍSMICO 3D
FAZENDA CEDRO NO INTERVALO APTIANO DO MEMBRO MUCURI,
BACIA DO ESPÍRITO SANTO**

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.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Kuchle

PORTO ALEGRE

2017

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Bramraiter, Bárbara Albuquerque

Análise sismoestratigráfica do volume sísmico 3D Fazenda Cedro no intervalo aptiano do Membro Mucuri, Bacia do Espírito Santo. / Bárbara Albuquerque Bramraiter. - Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2017. [122 f.] il.

Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2017.

Orientador: Juliano Kuchle

1. Evolução deposicional. 2. Sismoestratigrafia. 3. Membro Mucuri. 4. Aptiano. 5. Bacia do Espírito Santo. I. Título.

CDU 550.34

Catálogo na Publicação
Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Sibila Francine T. Binotto

CRB 10/1743

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova o Trabalho de Conclusão de Curso **ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DO VOLUME SÍSMICO 3D FAZENDA CEDRO NO INTERVALO APTIANO DO MEMBRO MUCURI, BACIA DO ESPÍRITO SANTO** elaborado por **BÁRBARA ALBUQUERQUE BRAMRAITER**, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Comissão Examinadora:

Dr. Cesar L. Schultz

Dr. Paulo Alves de Souza

Dra. Tais Freitas da Silva

Dedico este trabalho à minha segunda família, minhas amigas-irmãs Lê, Lari e Thay, por acreditarem em mim mesmo quando eu não acreditava. Dedico também à minha família, pelo carinho e amor incondicionais, e à minha mãe, em especial, por toda paciência e todo cuidado.

Agradecimentos

Minha gratidão por esta caminhada, que só está iniciando, começa pelas minhas amigas e companheiras de vida Lari, Lê e Thay. Sem o apoio, o incentivo, e o carinho de vocês, nada teria tanta graça e tudo seria mais cinza. Agradeço demais ao Piko, que me deu um suporte que eu jamais esperaria durante meu intercâmbio, sendo meu amigo e anjo em terras americanas. À minha família amada, sou grata por vocês estarem do meu lado nos momentos mais difíceis, aguentando o pior dos meus péssimos humores e tempestades. Obrigada por me aceitarem assim e quererem o meu bem sempre. Ao Juliano e à Paty pelos ensinamentos e lições, meu muito obrigada. Espero levar para minha vida profissional o que vivi na estrati. À Tati, obrigada por fazer meu TCC ser mais leve com a tua gargalhada contagiante e por sempre me receber com a minha música, da Barbie. Ao Tramontina, sou grata pela generosidade e proatividade, que me estendeu a mão sempre que precisei. Agradeço o Programa de Recursos Humanos (PRH-12), por meio do convênio da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) com a Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) pela oportunidade de especialização em geologia do petróleo e por financiar o desenvolvimento deste trabalho. Por fim, ao Projeto Mucuri, sou grata por toda a infraestrutura fornecida e contribuição de colegas e equipe.

“Climb these hills
I’m reaching for the highs
And chasing all the lights that shine
And when they let you down
You’ll get up off the ground
‘Cause morning rolls around
And it’s another day of sun.”

La La Land

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo entender a estratigrafia e a história evolutiva de parte do Membro Mucuri terrestre - seção continental a parálisa amplamente perfurada e testemunhada, com diversos campos produtores e uma prolífica quantidade de dados disponíveis - o qual corresponde à base do intervalo aptiano da Bacia do Espírito Santo. A metodologia de análise sismoestratigráfica aplicada ao volume sísmico 3D Fazenda Cedro, área localizada no centro-leste da Bacia do Espírito Santo nunca antes analisada do ponto de vista sismoestratigráfico, incluiu as seguintes etapas sequenciais: (1) mapeamento de superfícies; (2) rastreamento completo de terminações de refletores internos e falhas; (3) reconhecimento de unidades sismoestratigráficas e sismofácies; e (4) elaboração de diagramas cronoestratigráficos. Deste modo, a unificação das seções sísmicas geradas por essas etapas - para três linhas sísmicas *dip* e duas *strike* - bem como a interpretação de mapas de superfícies e isócronas produzidos pelo mapeamento sísmico ao longo de toda a área investigada, permitiu estabelecer a evolução no espaço e no tempo do arcabouço estratigráfico e controles deposicionais do Membro Mucuri na área de estudo. Assim, foram reconhecidas seis unidades sismoestratigráficas (US1, US2, US3, US4, US5 e US6) e três sismofácies (SF1, SF2 e SF3). A SF1 (azul) foi interpretada como um sistema fluvial dominado por canais, a SF2 (amarela) um sistema deltaico dominado por ondas, e a SF3 (vermelha) um sistema fluvial dominado por planície. O Membro Mucuri no volume sísmico 3D Fazenda Cedro foi interpretado como um sistema costeiro dominado por ondas com influência maior ou menor de sistemas fluviais. No mapeamento sísmico, foram identificadas principalmente falhas N-S nos mapas de isócronas. A partir do cálculo da razão entre a espessura média e a área de cada unidade sismoestratigráfica, as unidades sismoestratigráficas foram divididas em quatro tratos tectônicos (TT), onde: a deposição do TT1 (US1) teve alta influência tectônica, do TT2 (US2 e US3) baixa, do TT3 (US4) média e do TT4 (US5 e US6) baixa. A influência tectônica incipiente registrada nos mapas de isócronas e nos cálculos de balanço tectônico das unidades sismoestratigráficas indicou que o Membro Mucuri foi depositado em uma ampla bacia do tipo sag, por relaxamento térmico oriundo do final da Fase Rife da Bacia do Espírito Santo.

Palavras-chave: Evolução deposicional; Sismoestratigrafia; Membro Mucuri; Aptiano; Bacia do Espírito Santo.

Abstract

This paper aimed to understand the stratigraphy and historical evolution of the terrestrial portion of the Mucuri Member - a continental to paralic environment with plenty of drilled wells and cores, with several oil fields and a lot of available data – which corresponds to the aptian basal interval of the Espírito Santo Basin. The seismic stratigraphic analysis methodology applied to the seismic 3D data of Fazenda Cedro, an area located in the central-eastern part of the Espírito Santo Basin that has never been analyzed from a seismic stratigraphic perspective, sequentially included the following steps: (1) surfaces mapping; (2) internal reflection terminations and faults tracking; (3) seismic stratigraphic units and seismic facies recognizing; and (4) chronostratigraphic diagrams elaboration. The unification of the seismic sections produced by these steps - through three dip and two strike seismic lines - as well as the interpretation of surfaces and isochrons' maps generated by the seismic mapping of the whole study area, allowed the evolution in space and time of the stratigraphic framework and depositional controls of the Mucuri Member in the seismic cube Fazenda Cedro to be established. Therefore, six seismic stratigraphic units (US1, US2, US3, US4, US5 and US6) and three seismic facies (SF1, SF2 and SF3) were recognized. The SF1 (blue) was interpreted as a channel-dominated fluvial system, the SF2 (yellow) as a wave-dominated deltaic system, and the SF3 (red) as a floodplain-dominated fluvial system. The Mucuri Member was interpreted as a wave-dominated coastal system on a variable degree influenced by fluvial systems. N-S faults were mainly identified on isochrons' maps. The ratio between the average thickness and the area for each seismic stratigraphic unit led to divide the seismic stratigraphic units into four tectonic tracts (TT), where: the TT1 (US1) comprised a high tectonic influence, the TT2 (US2 and US3) a low tectonic influence, the TT3 (US4) an intermediary tectonic influence, and the TT4 (US5 and US6) a low one. According to the incipient tectonic influence register within the isochrons' maps and the seismic stratigraphic units' tectonic control calculations, the Mucuri Member was deposited on a wide sag basin by thermal relaxation in the final stage of the Espírito Santo Basin's Rift Phase.

Keywords: Depositional evolution; Seismic stratigraphy; Mucuri Member; Aptian; Espírito Santo Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização do volume sísmico 3D Fazenda Cedro, no centro-leste da porção <i>onshore</i> da Bacia do Espírito Santo. Os poços indicados no mapa estão amarrados ao dado sísmico. As linhas sísmicas selecionadas para análise sismoestratigráfica (IN40, IN110, IN180, CS150 e CS350) aparecem tracejadas em cinza.....	17
Figura 2 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Espírito Santo. O retângulo vermelho indica o Membro Mucuri no Aptiano da bacia, Andar Local Alagoas, situado abaixo da Discordância Base dos Evaporitos.	19
Figura 3 - Mapa da Bacia do Espírito Santo, mostrando falhas, paleocânions, e relações de contato da bacia com o embasamento a oeste, e com a Bacia do Mucuri ao norte.	24
Figura 4 - Seções esquemáticas mostrando diferenças na sedimentação do início e do final do Aptiano. Em (A), aparece o deslocamento do processo de rifteamento para leste, durante o Eoaptiano, gerando exposição subaérea das áreas proximais. (B) ilustra a sedimentação marinha do Neoaptiano recobrando a Discordância Pré-Aptiano Superior, em condições de quiescência tectônica.....	26
Figura 5 - Mapas de reconstrução paleogeográfica do Barremiano (A), Eoaptiano (B), e Neoaptiano pré-evaporítico (C) e evaporítico (D), mostrando as principais fases tectônicas e o desenvolvimento da sedimentação marinha no Oceano Atlântico Sul.....	27
Figura 6 - Fluxograma da metodologia de análise sismoestratigráfica utilizada, baseada em Mitchum e Vail (1977), onde os dados de entrada necessários para realização de cada etapa analítica estão à esquerda, as etapas no meio, e a geração do arcabouço estratigráfico do cubo sísmico Fazenda Cedro aparece à direita, como produto final da análise.	36
Figura 7 - Padrões de terminação de refletores de limite superior (truncamento erosivo, <i>toplap</i> e concordante) e inferior (<i>onlap</i> , <i>downlap</i> e concordante) de uma sequência sísmica/sequência deposicional.	39
Figura 8 - Tipos de geometria interna de sismofácies, dados em configurações paralela, caótica, transparente, divergente, progradante, hummocky, lenticular, segmentada e contorcida.	42
Figura 9 - Padrões de geometria externa de sismofácies (lençol, lençol ondulado, cunha, banco e lenticular), seus tipos de preenchimento (em canal, de bacia e de talude) e de montiformas (generalizada e leque).....	43

Figura 10 - Disposição do Membro Mucuri na Bacia do Espírito Santo e arcabouço estrutural esquemático. O Mb. Mucuri está diretamente sobreposto ao embasamento ou à Fm. Cricaré, e majoritariamente sotoposto ao Mb. Itaúnas.....	48
Figura 11 - (A) Visualização 3D do mapeamento completo de topo e base do Mb. Mucuri, para 50 linhas <i>dip</i> e 21 <i>strike</i> . (B) Visualização 3D das superfícies de topo e base do membro, geradas por interpolação, cortando o dado sísmico em <i>Normal Phase</i> . A seta verde indica o norte. Os poços amarrados ao dado sísmico aparecem em verde.	49
Figura 12 - Seção sísmica <i>dip</i> da linha IN40 não interpretada.....	51
Figura 13 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção <i>dip</i> da linha IN40.	51
Figura 14 - Seção sísmica <i>dip</i> da linha IN110 não interpretada.....	52
Figura 15 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção <i>dip</i> da linha IN110.	52
Figura 16 - Seção sísmica <i>dip</i> da linha IN180 não interpretada.....	53
Figura 17 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção <i>dip</i> da linha IN180.	53
Figura 18 - Unidades sismoestratigráficas da seção <i>dip</i> da linha IN40.....	58
Figura 19 - Unidades sismoestratigráficas da seção <i>dip</i> da linha IN110.....	58
Figura 20: Unidades sismoestratigráficas da seção <i>dip</i> da linha IN180.....	62
Figura 21 - Amostragem litológica de calha do poço 1RBN-0003-ES interceptando as sismofácies SF2 e SF3 da linha sísmica <i>Inline</i> 40. A perfuração não atinge a SF1.	64
Figura 22 - Perfis litológicos de testemunhos descritos no Projeto Mucuri (UFRGS), em poços adjacentes ao cubo sísmico Fazenda Cedro, mostrando uma sucessão de fácies de sistemas fluvial (A) e costeiro dominado por ondas (B).....	65
Figura 23 - Distribuição das sismofácies na seção <i>dip</i> da linha IN40.....	68
Figura 24 - Distribuição das sismofácies na seção <i>dip</i> da linha IN110.....	68
Figura 25 - Distribuição das sismofácies na seção <i>dip</i> da linha IN180.	69
Figura 26 - Diagrama cronoestratigráfico (embaixo) da seção <i>dip</i> da linha IN40, feito a partir da interpretação geral (em cima), que mostra a disposição das sismofácies em cada unidade sismoestratigráfica.	72
Figura 27 - Diagrama cronoestratigráfico (embaixo) da seção <i>dip</i> da linha IN110, feito a partir da interpretação geral (em cima), que mostra a disposição das sismofácies em cada unidade sismoestratigráfica.	74

Figura 28 - Diagrama cronoestratigráfico (embaixo) da seção <i>dip</i> da linha IN180, feito a partir da interpretação geral (em cima), que mostra a disposição das sismofácies em cada unidade sismoestratigráfica.	76
Figura 29 - Seção sísmica <i>strike</i> da linha CS150 não interpretada.	79
Figura 30 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção <i>strike</i> da linha CS150.	79
Figura 31 - Unidades sismoestratigráficas da seção <i>strike</i> da linha CS150.	80
Figura 32 - Distribuição das sismofácies na seção <i>strike</i> da linha CS150.	80
Figura 33 - Seção sísmica <i>strike</i> da linha CS350 não interpretada.	82
Figura 34 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção <i>strike</i> da linha CS350.	82
Figura 35 - Unidades sismoestratigráficas da seção <i>strike</i> da linha CS350.	83
Figura 36 - Distribuição das sismofácies na seção <i>strike</i> da linha CS350.	83
Figura 37 - Mapa da superfície basal do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro.	87
Figura 38 - Mapa da superfície de topo do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro.	88
Figura 39 - Mapa de isócronas do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro.	89
Figura 40 - Mapa da superfície de topo da US1.	91
Figura 41 - Mapa de isócronas da US1.	92
Figura 42 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US1 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US1; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US1, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções <i>dip</i> e <i>strike</i> . A seta verde indica para o norte.	93
Figura 43 - Mapa da superfície de topo da US2.	94
Figura 44 - Mapas de isócronas da US2.	95
Figura 45 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US2 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US2; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US2, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções <i>dip</i> e <i>strike</i> . A seta verde indica para o norte.	96
Figura 46 - Mapa da superfície de topo da US3.	98
Figura 47 - Mapa de isócronas da US3.	99
Figura 48 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US3 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US3; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base	

da US3, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções <i>dip</i> e <i>strike</i> . A seta verde indica para o norte.	100
Figura 49 - Mapa da superfície de topo da US4.	101
Figura 50 - Mapa de isócronas da US4.	102
Figura 51 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US4 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US4; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US4, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções <i>dip</i> e <i>strike</i> . A seta verde indica para o norte.	103
Figura 52 - Mapa da superfície de topo da US5.	105
Figura 53 - Mapa de isócronas da US5.	106
Figura 54 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US5 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US5; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US5, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções <i>dip</i> e <i>strike</i> . A seta verde indica para o norte.	107
Figura 55 - Mapa da superfície de topo da US6.	108
Figura 56 - Mapa de isócronas da US6.	109
Figura 57 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US6 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US6; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US6, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções <i>dip</i> e <i>strike</i> . A seta verde indica para o norte.	110
Figura 58 - Modelos idealizados de controle deposicional das unidades sismoestratigráficas, conforme os valores de RBT se distanciam de 1 ms/km ² . (A) Deposição em condições de maior atividade tectônica, restrita a calhas para RBT > 1 ms/km ² . (B) Equilíbrio tectônico com deposição menos controlada por tectonismo para RBT = 1 ms/km ² . (C) Deposição em condições de menor atividade tectônica, onde RBT < 1 ms/km ²	111

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Organização ilustrativa dos atributos sísmicos utilizados no <i>software Petrel</i> e suas características.....	35
Quadro 2 - Parâmetros de reflexões sísmicas usados para caracterizar sismofácies e significados geológicos associados.....	42
Quadro 3 - Objetivos específicos alcançados para cada etapa realizada da metodologia utilizada.	45
Quadro 4 - Assinaturas sísmicas das sismofácies SF1 (azul), SF2 (amarela) e SF3 (vermelha), seus parâmetros físicos, litologias das amostras de calha amarradas ao dado sísmico e interpretações de sistemas deposicionais.....	63
Quadro 5 - Síntese dos tratos tectônicos, com suas unidades sismoestratigráficas associadas, graus de tectonismo e modelos deposicionais simplificados.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de área, espessuras máxima e média, e razão entre espessura média e área (RBT) para cada unidade sismoestratigráfica.....	113
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP - Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis

CS - *crossline*

ES - Espírito Santo

Fm - Formação

IN - *inline*

Ma - Milhões de anos

Mb. - Membro

SF - Sismofácies

SRLB - Sistema Rifte da Margem Leste Brasileira

TWT - *two-way travelttime* (tempo sísmico duplo)

US - unidade sismoestratigráfica

SUMÁRIO

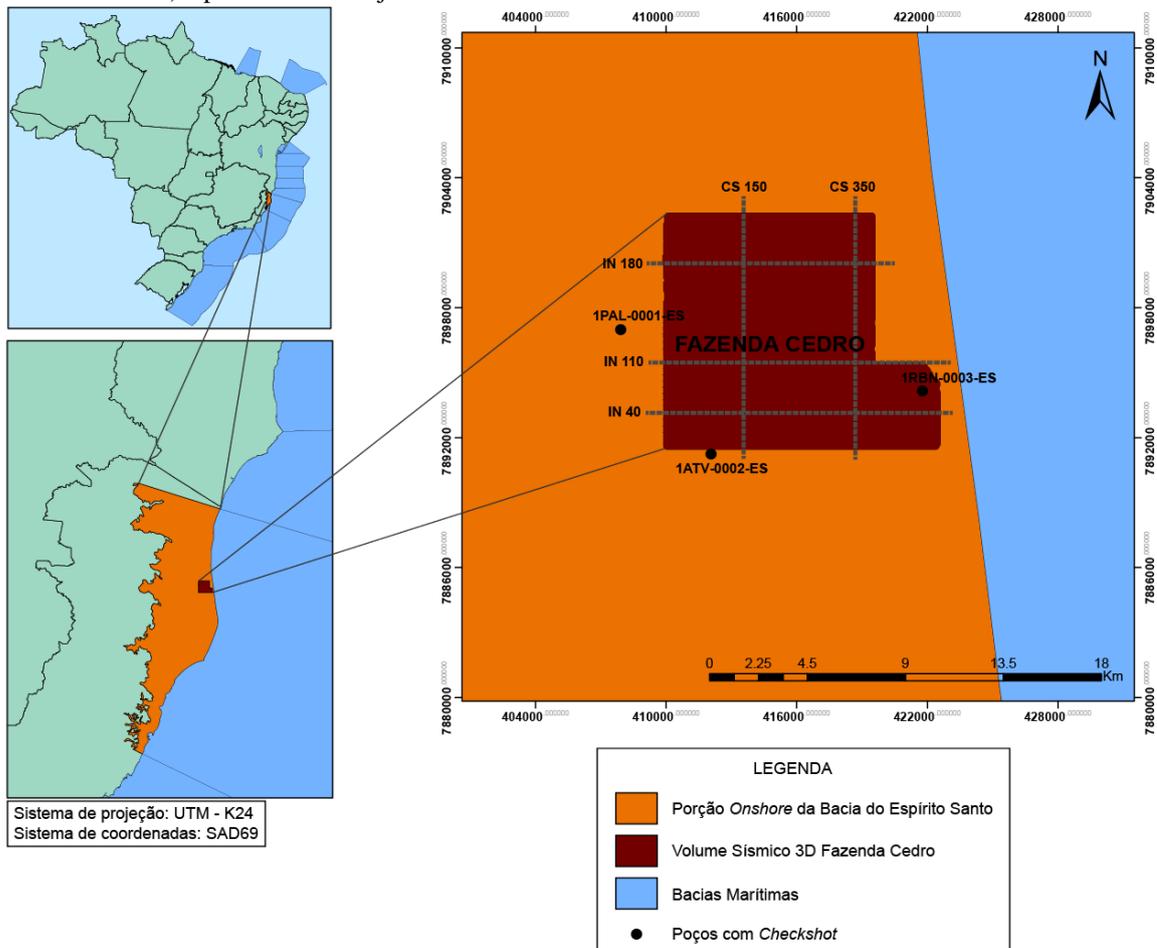
1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1 Justificativa	21
2. OBJETIVOS.....	22
3. GEOLOGIA REGIONAL	23
3.1 Sistema Rifte da Margem Leste Brasileira.....	23
<i>3.1.1 Andar Aptiano da Margem Leste Brasileira</i>	<i>25</i>
3.2 Bacia do Espírito Santo.....	27
<i>3.2.1 Tectonoestratigrafia.....</i>	<i>28</i>
<i>3.2.2 Evolução Depositional.....</i>	<i>29</i>
3.3 Membro Mucuri	31
4. METODOLOGIA	33
4.1 Atributo Sísmico: uma ferramenta interpretativa	34
4.2 Sistemática da Análise Sismoestratigráfica.....	35
<i>4.2.1 Delimitação do Intervalo de Estudo.....</i>	<i>37</i>
<i>4.2.2 Mapeamento Completo de Refletores e Suas Terminações</i>	<i>37</i>
<i>4.2.3 Reconhecimento de Unidades Sismoestratigráficas.....</i>	<i>39</i>
<i>4.2.4 Reconhecimento de Sismofácies</i>	<i>40</i>
<i>4.2.5 Elaboração de Diagramas Cronoestratigráficos</i>	<i>43</i>
4.3 Geração de Mapas	44
4.4 Integração dos Resultados	44
4.5 Produtos Metodológicos	45
4.6 Precisão e Resolução.....	46
5. ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	47
5.1 Mapeamento de Topo e Base do Membro Mucuri.....	47
5.2 Interpretação Completa de Refletores – Seções <i>Dip</i>.....	49
<i>5.2.1 Dip Inline 40</i>	<i>49</i>
<i>5.2.2 Dip Inline 110</i>	<i>50</i>
<i>5.2.3 Dip Inline 180</i>	<i>50</i>
5.3 Unidades Sismoestratigráficas - Seções <i>Dip</i>	54
<i>5.3.1 Dip Inline 40</i>	<i>54</i>
<i>5.3.2 Dip Inline 110</i>	<i>55</i>

5.3.3 <i>Dip Inline 180</i>	59
5.4 Sismofácies - Seções <i>Dip</i>	63
5.4.1 <i>Dip Inline 40</i>	65
5.4.2 <i>Dip Inline 110</i>	66
5.4.3 <i>Dip Inline 180</i>	67
5.5 Diagramas Cronoestratigráficos - Seções <i>Dip</i>	70
5.5.1 <i>Dip Inline 40</i>	70
5.5.2 <i>Dip Inline 110</i>	73
5.5.3 <i>Dip Inline 180</i>	75
5.6 Cruzamento de Seções <i>Dip</i> e <i>Strike</i>	77
5.6.1 <i>Strike Crossline 150</i>	77
5.6.2 <i>Strike Crossline 350</i>	81
5.7 Arcabouço Estratigráfico	84
6. MAPEAMENTO SÍSMICO – RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
6.1 Mapeamento do Membro Mucuri	86
6.2 Mapeamento das Unidades Sismoestratigráficas	90
6.2.1 <i>Unidade Sismoestratigráfica 1 (US1)</i>	90
6.2.2 <i>Unidade Sismoestratigráfica 2 (US2)</i>	93
6.2.3 <i>Unidade Sismoestratigráfica 3 (US3)</i>	96
6.2.4 <i>Unidade Sismoestratigráfica 4 (US4)</i>	100
6.2.5 <i>Unidade Sismoestratigráfica 5 (US5)</i>	103
6.2.6 <i>Unidade Sismoestratigráfica 6 (US6)</i>	107
6.3 Controle Depositional das Unidades Sismoestratigráficas	110
7. CONCLUSÕES	115
REFERÊNCIAS	118

1. INTRODUÇÃO

O entendimento do padrão sedimentar bem como o estudo tectônico de bacias do tipo rifte são aspectos de suma importância para o mercado petrolífero, uma vez sabida a existência de reservas mundiais e brasileiras de hidrocarbonetos inseridas no contexto de rifteamento. A Bacia do Espírito Santo (Figura 1) localiza-se ao longo dos litorais centro-norte do Estado do Espírito Santo e sul do Estado da Bahia. Seu limite sul é a feição geológica conhecida como Alto de Vitória - que a separa da Bacia de Campos. Em termos de evolução tectono-sedimentar, a bacia faz parte do Sistema Rifte do Leste Brasileiro, sendo oriunda do rifteamento da margem continental brasileira que, segundo Ponte e Asmus (1978), iniciou no Neocomiano durante a fragmentação do Gondwana.

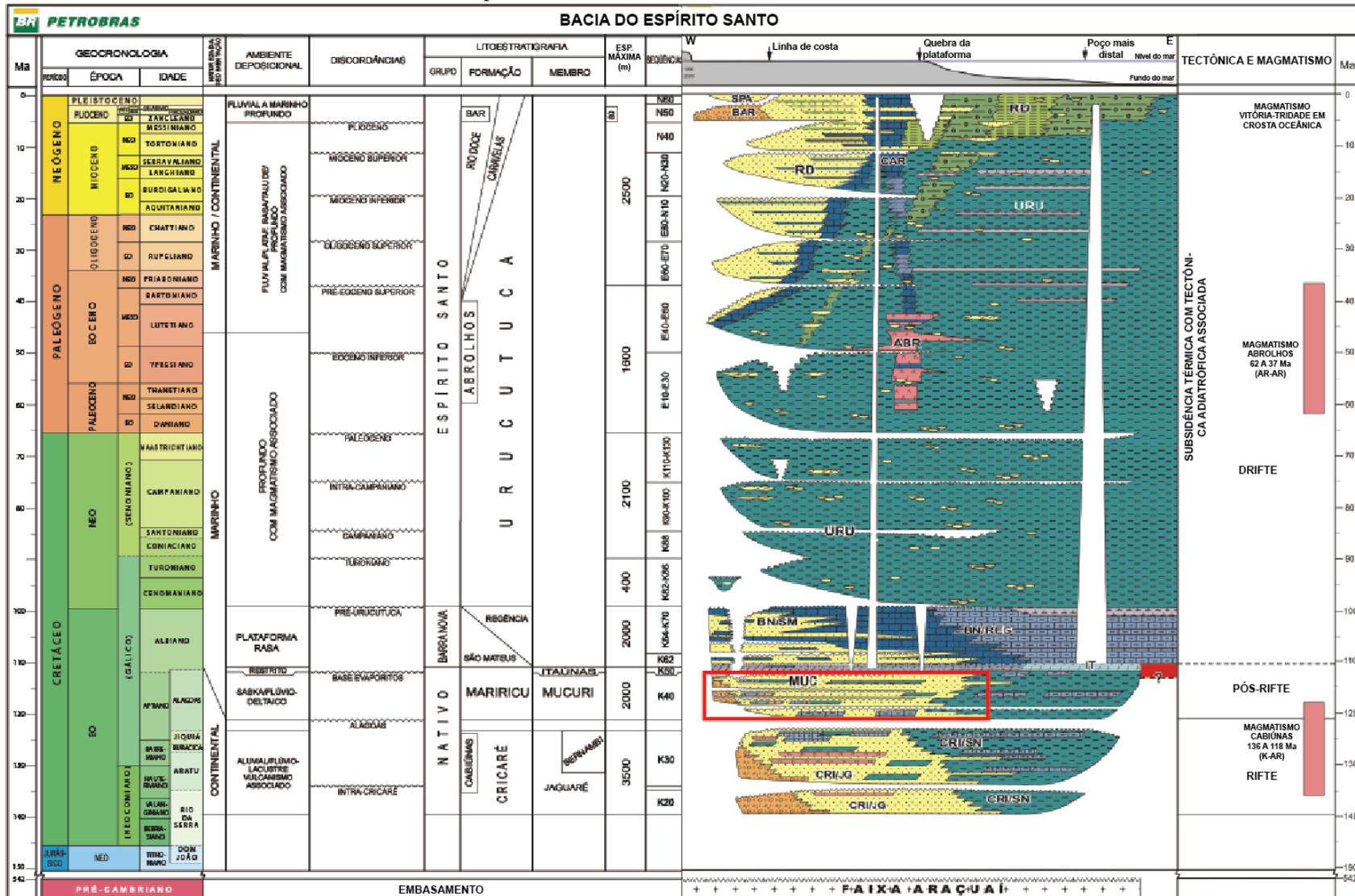
Figura 1 - Mapa de localização do volume sísmico 3D Fazenda Cedro, no centro-leste da porção *onshore* da Bacia do Espírito Santo. Os poços indicados no mapa estão amarrados ao dado sísmico. As linhas sísmicas selecionadas para análise sismoestratigráfica (IN40, IN110, IN180, CS150 e CS350) aparecem tracejadas em cinza.



Fonte: dados extraídos do Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP) da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Conforme a Figura 2, o Grupo Nativo corresponde à porção basal da Bacia do Espírito Santo, o qual é constituído pela Formação Cricaré na parte inferior, e pela Formação Mariricu na superior. A Formação Mariricu engloba os membros Mucuri e Itaúnas. O Membro Mucuri é composto por rochas siliciclásticas grossas (conglomerados e arenitos) finamente intercaladas por níveis evaporíticos e folhelhos - indicando depósitos de leques aluviais seguidos de períodos transgressivos (VIEIRA, 1998) - classicamente produtoras de petróleo desde a década de 60 do século XX.

Figura 2 - Carta cronoestratigráfica da Bacia do Espírito Santo. O retângulo vermelho indica o Membro Mucuri no Aptiano da bacia, Andar Local Alagoas, situado abaixo da Discordância Base dos Evaporitos.



Com a descoberta dos reservatórios do pré-sal brasileiro, o Membro Mucuri passou a ser uma unidade de interesse, dado o seu período de tempo deposicional cronocorrelato a esses reservatórios (Aptiano). Desta forma, compreender a evolução geológica do Membro Mucuri equivale a compreender a evolução da borda do pré-sal. Portanto, análises de eventos deposicionais, erosões, elementos arquiteturais e padrões de empilhamento de sistemas deposicionais que possam ser correlacionados com o pré-sal a partir do Mb. Mucuri tornam-se relevantes na atualidade.

O presente trabalho de conclusão de graduação consiste em uma análise sismoestratigráfica do Membro Mucuri - Aptiano da Bacia do Espírito Santo - no volume sísmico 3D Fazenda Cedro (Figura 1), localizado na porção centro-leste da bacia terrestre. A análise sismoestratigráfica aqui abordada foi embasada na metodologia proposta por Mitchum e Vail (1977) publicada no *Memoir 26* da AAPG (*American Association of Petroleum Geologists*), cujas etapas sequenciais foram: (1) interpretação completa de refletores; (2) análise e reconhecimento de superfícies cronoestratigráficas e unidades sismoestratigráficas; (3) análise de sismofácies; e (4) confecção de diagramas cronoestratigráficos.

O cubo sísmico Fazenda Cedro possui 216 linhas *dip* e 501 linhas *strike* com profundidade dada em tempo sísmico duplo (*TWT - two-way traveltime*), através das quais foi efetuado o mapeamento de topo e base do Membro Mucuri ao longo de todo o dado sísmico processado no *software Petrel*, em uma malha de interpretação com espaçamento de 10 em 10 linhas. Após definição do intervalo de estudo com o auxílio de dois poços com *checkshot* (1RBN-0003-ES e 1ATV-0002-ES) amarrados à sísmica, foram selecionadas três linhas *dip* e duas linhas *strike*, considerando a representatividade das reflexões observadas, bem como uma distribuição uniforme das linhas sísmicas no volume investigado. Para essas cinco linhas, foi feita a interpretação completa das terminações dos refletores e foram reconhecidas superfícies cronoestratigráficas e sismofácies, por meio das quais se efetuou o mapeamento sísmico da área de enfoque. Os diagramas cronoestratigráficos foram elaborados apenas para as linhas *dip*.

A escassez de dados sísmicos e testemunhos da porção *offshore* da Bacia do Espírito Santo dificulta os estudos de sua evolução deposicional e do seu real potencial exploratório. Desta maneira, esta monografia é motivada pela inexistência de trabalhos de detalhe no Membro Mucuri - que apresentem elementos sismoestratigráficos contemplando suas compartimentações internas e variações deposicionais. Adicionalmente, a dificuldade de distinção entre a Formação Cricaré, o embasamento e o Membro Mucuri no dado sísmico surge como um desafio da interpretação sísmica, fomentando a busca por parâmetros geológicos complementares. Logo, o presente trabalho agrega ao conhecimento do pré-sal brasileiro, por

meio do estudo da evolução da porção *onshore* da Bacia do Espírito Santo, a qual é especialmente visada devido ao seu potencial petrolífero, possuindo histórico exploratório desde 1968 e uma área de exploração atual equivalente a 41.500 km².

Segundo Vieira, Costa e Alves (1992), a correlação das porções terrestre e marinha da Bacia do Espírito Santo é embasada na extensão e no desenvolvimento dos sistemas de leques aluviais e falhas que a limitam. Assim, imagina-se que a complexidade dos eventos deposicionais do pré-sal – embora, talvez, não da mesma maneira - também esteja registrada no Membro Mucuri. Espera-se, ainda, que o Mb. Mucuri apresente uma variabilidade interna de sistemas deposicionais que seja reconhecida em seções sísmicas a partir de sismofácies e unidades sismoestratigráficas, e que essa variabilidade, bem como suas tendências e seus controles, seja compatível com as fácies deposicionais de testemunhos descritos no Projeto Mucuri do Departamento de Paleontologia e Estratigrafia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em parceria com a Shell.

1.1 Justificativa

O trabalho em questão é preponderante no que concerne ao desenvolvimento do conhecimento geológico, focado na análise sísmica como ferramenta crucial para o entendimento da evolução deposicional de uma bacia rifte. A compreensão dos elementos sismoestratigráficos inseridos no Membro Mucuri, portanto, está diretamente vinculada ao futuro da exploração de hidrocarbonetos relativos ao pré-sal brasileiro. A falta de informações da porção *offshore* da Bacia do Espírito Santo, somada ao custo e à dificuldade da obtenção de linhas sísmicas e testemunhagens, impulsiona o estudo detalhado dos padrões de deposição e evolução da bacia a partir dos dados que existem na sua porção *onshore*.

2. OBJETIVOS

O objetivo fundamental deste trabalho é compreender a evolução sedimentar do Membro Mucuri na área de estudo abordada, por meio da análise de eventos deposicionais, superfícies erosivas, padrões de empilhamento de sistemas deposicionais e da influência do tectonismo. Para tanto, tendo por base a sistemática metodológica de Mitchum e Vail (1977) de análise sismoestratigráfica, as metas específicas do projeto aqui redigido são:

- (1) mapear topo e base do Membro Mucuri no volume sísmico 3D Fazenda Cedro ao longo de linhas sísmicas 2D, sendo 21 linhas *dip* e 50 *strike*;
- (2) rastrear padrões de terminações de refletores para três linhas *dip* e duas linhas *strike*;
- (3) mapear falhas significativas;
- (4) identificar unidades sismoestratigráficas e superfícies estratigráficas;
- (5) reconhecer sismofácies que correspondam a parâmetros físicos semelhantes para grupos distintos de reflexões;
- (6) elaborar diagramas cronoestratigráficos;
- (7) gerar mapas de isócronas e de topo das unidades sismoestratigráficas ao longo do volume sísmico;
- (8) gerar um modelo evolutivo deposicional do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro, como produto da integração e interpretação dos elementos sismoestratigráficos e do mapeamento sísmico.

3. GEOLOGIA REGIONAL

A Bacia do Espírito Santo (Figura 3) localiza-se no Estado do Espírito Santo (ES), onde é delimitada com a Bacia de Campos ao sul, pelo Alto de Vitória, e com a Bacia do Mucuri ao norte (FRANÇA et al., 2007). Dos 41.500 km² exploráveis, 3000 km² é a área referente à porção terrestre da bacia, considerando que sua fronteira leste coincide com o limite crosta continental/oceânica. O Banco de Abrolhos, a leste, configura uma fisiografia ímpar para a Bacia do ES, evidenciada por um alargamento da plataforma continental, a qual alcança, em média, 40 km e 240 km de largura, respectivamente às porções norte e centro-oeste. A atualização da carta cronoestratigráfica da Bacia do ES mostrada na Figura 2 foi fundamentada no conhecimento adquirido ao longo de 50 anos de exploração da bacia, a partir de centenas de poços exploratórios e inúmeras linhas sísmicas 2D e 3D - nas porções terrestre e marinha de águas rasas, profundas e ultraprofundas - juntamente à contínua integração de novos dados (FRANÇA et al., 2007). Por falta de afloramentos, todas as unidades da bacia foram definidas segundo testemunhos, amostras de calha e perfis eletrorradioativos de poços (VIEIRA, 1998).

A evolução tectonoestratigráfica da Bacia do Espírito Santo é típica das bacias da margem leste brasileira. Neste capítulo, segue detalhamento do contexto de rifteamento na qual esta bacia está inserida.

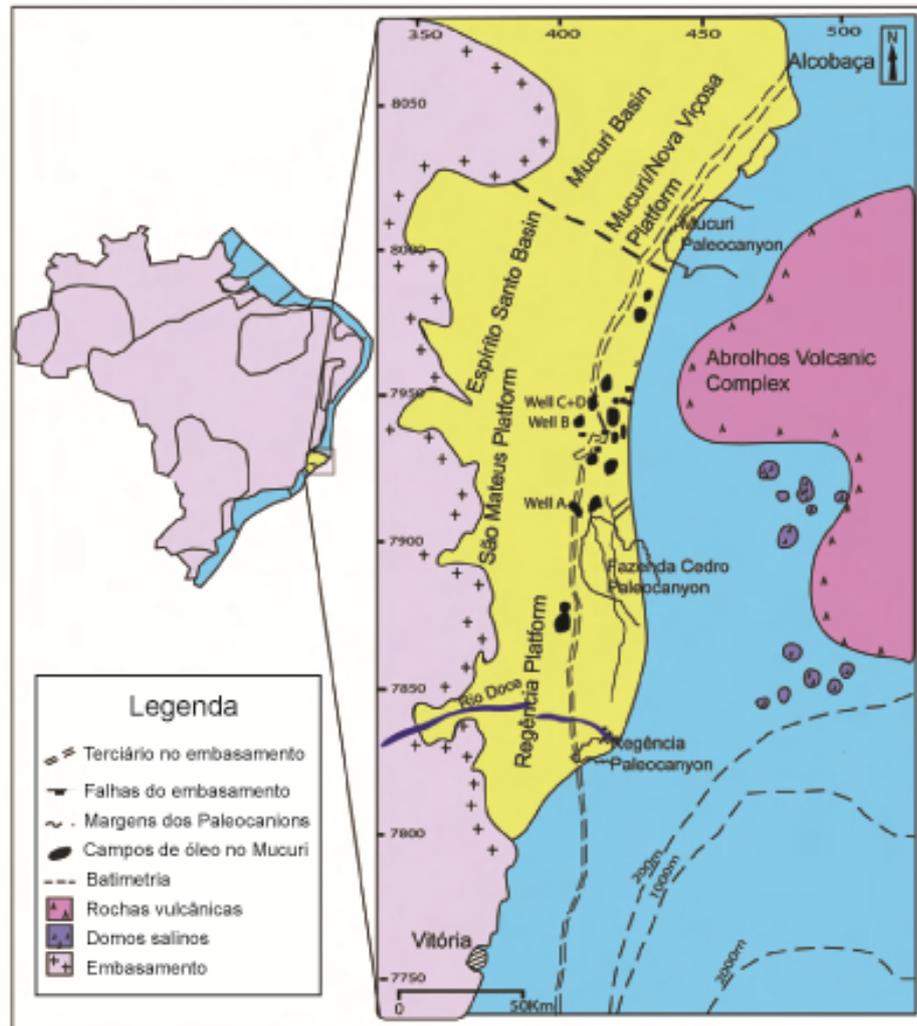
3.1 Sistema Rife da Margem Leste Brasileira

Segundo Chang et al. (1992), o Sistema Rife da Margem Leste Brasileira (SRLB) constitui o segmento setentrional do Sistema Rife do Atlântico Sul. O desenvolvimento do SRLB ocorreu durante o Mesozoico com a fragmentação do Supercontinente Gondwana, onde a continuação da separação ortogonal de extensão crustal entre os continentes África e América do Sul levou à formação de uma margem continental passiva no Aptiano Superior.

O SRLB consiste em seis bacias de margem continental rifteadas, sendo elas, do sul para o norte: Pelotas, Santos, Campos, Espírito Santo, Bahia Sul e Sergipe-Alagoas. Adicionalmente, as bacias Recôncavo, Tucano e Jatobá correspondem a braços abortados do rife. Os sedimentos que preenchem as bacias rife da margem leste brasileira contemplam idades desde o Jurássico Superior ao Recente, os quais são subdivididos em cinco

megassequências (PONTE; ASMUS, 1978; CHANG; KOWSMANN; FIGUEIREDO, 1988): (1) Continental; (2) Evaporítica Transicional; (3) Plataformal Carbonática Marinha Rasa do início do estágio drifte; (4) Transgressiva de Marinho Aberto; e (5) Regressiva, com ciclos regressivos do estágio de margem passiva.

Figura 3 - Mapa da Bacia do Espírito Santo, mostrando falhas, paleocânions, e relações de contato da bacia com o embasamento a oeste, e com a Bacia do Mucuri ao norte.



Fonte: modificado de Carvalho et al. (2014).

Chang et al. (1992) indicam a existência de três sequências estratigráficas continentais sin-rifte: Sin-Rifte I (Jurássico), Sin-Rifte II (Neocomiano) e Sin-Rifte III (Barremiano). O magmatismo associado ao rifteamento centralizou-se no sul do SRLB, atingindo seu pico entre 130 e 120 Ma, durante a fase Sin-Rifte II, quando ocorre o principal evento de estiramento crustal.

As estruturas de rifteamento encontradas no SRLB apresentam um padrão NE, cortando províncias arqueanas a paleoproterozoicas, sendo que o campo tensional NW-SE é compatível

com as fases de extensão crustal Sin-Rifte II e III (CHANG et al., 1992). O modelo cinemático defendido por Chang et al. (1992) sugere que, durante a separação continental, a deformação foi acomodada pela rotação da Placa Sulamericana, produzindo, portanto, extensão na direção NE-SW e injeções de diques NW-SE.

De maneira geral, o domínio distensivo meridional do rifteamento da margem continental brasileira tem um estilo estrutural marcado pela atividade de falhas normais orientadas paralelamente à costa (MILANI et al., 2000), o que pode ser observado em cada uma das bacias individuais ao longo da margem, segundo Ojeda (1982) e Chang et al. (1992). Falhas de transferência ocorrem em alto ângulo com a direção regional de desenvolvimento das falhas normais. A orientação predominante de abertura da margem passiva foi definida pelo conjunto de falhas normais, enquanto que as zonas de transferência do rifte foram responsáveis pela nucleação das grandes falhas transformantes do assoalho oceânico.

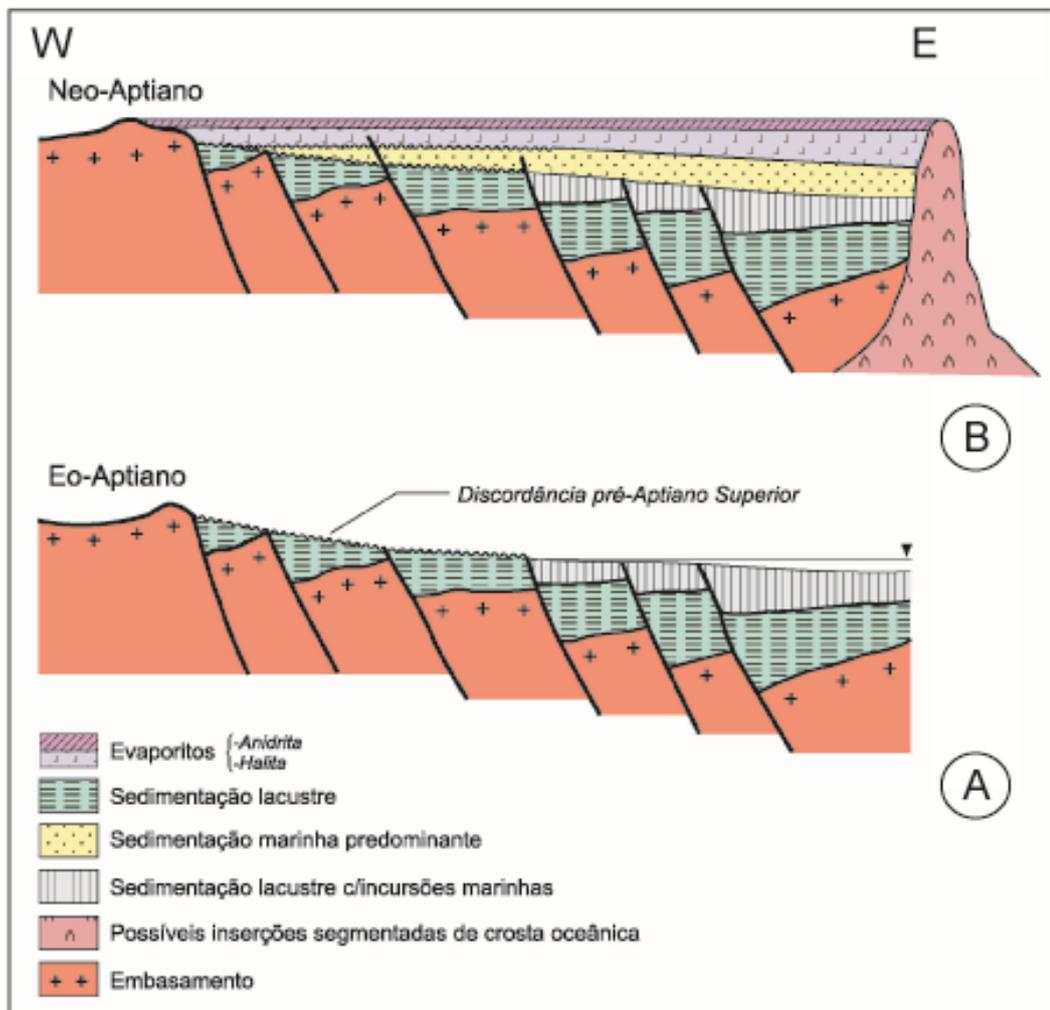
3.1.1 Andar Aptiano da Margem Leste Brasileira

Conforme Dias (2005), o Andar Aptiano ($121 \pm 1,4$ Ma a $112,2 \pm 1,1$ Ma - GRADSTEIN et al., 1994) pode ser subdividido em dois pacotes com características tectonosedimentares distintas: Inferior e Superior. O Andar Aptiano Inferior (Eoaptiano) tem duração de cerca de 4 Ma e equivale às porções superior do Andar Jiquiá e inferior do Andar Alagoas. O Andar Aptiano Superior (Neoaptiano) durou aproximadamente 4,8 Ma, e corresponde genericamente ao Andar Alagoas Superior.

Durante o Eoaptiano, houve sedimentação continental (sistema de leques aluviais, fluviais e lacustres) com incursões marinhas esporádicas, onde o deslocamento da deformação crustal para as porções axiais do rifte gerou exposição subaérea proximalmente, marcada pela Discordância Pré-Aptiano Superior (DIAS, 2005). Desta forma, em boa parte do Eoaptiano, as porções proximais da margem leste brasileira foram caracterizadas por grábens inativos, logo, sujeitas a processos erosionais, enquanto ocorria intensa sedimentação nas porções mais distais no contexto tectônico do final da fase rifte. O Neoaptiano enquadra-se na fase de drifte segmentado, onde a quiescência tectônica levou a uma sedimentação marinha em mar epicontinental. Esta fase tectônica foi caracterizada por uma implementação segmentada de crosta oceânica com subsidência generalizada e falhas localizadas. A Figura 4 mostra as diferenças tectonoestratigráficas previstas entre o Eo e o Neoaptiano. Na Figura 5, é possível

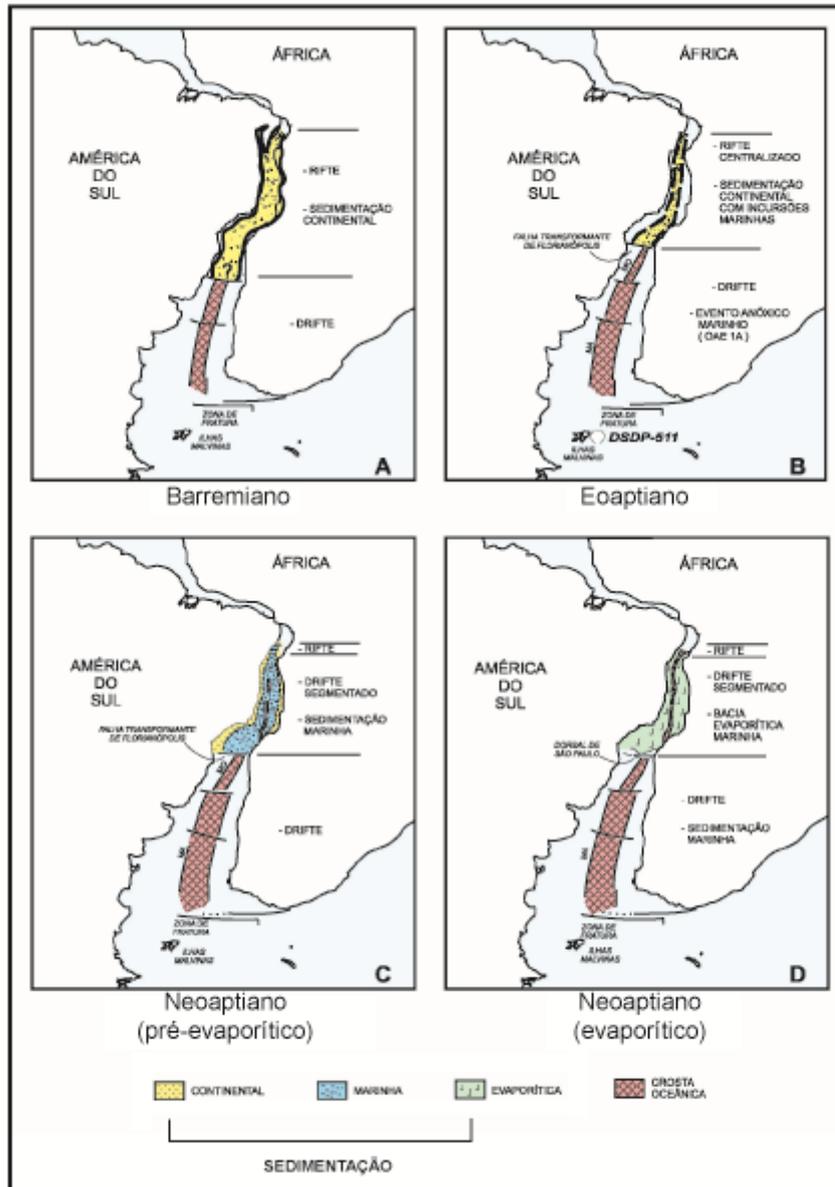
observar a evolução tectônica da margem leste brasileira desde o Barremiano (129 a 125 Ma) até o Neoptiano. Nota-se que houve uma expressiva deposição evaporítica no final do Aptiano (Figura 5D), onde a Dorsal de São Paulo - muralha vulcânica E-W - funcionou com uma barreira que restringiu a circulação marinha, concentrando e precipitando sais em meio ao clima árido da época.

Figura 4 - Seções esquemáticas mostrando diferenças na sedimentação do início e do final do Aptiano. Em (A), aparece o deslocamento do processo de rifteamento para leste, durante o Eoaptiano, gerando exposição subaérea das áreas proximais. (B) ilustra a sedimentação marinha do Neoptiano recobrendo a Discordância Pré-Aptiano Superior, em condições de quiescência tectônica.



Fonte: Dias (2005).

Figura 5 - Mapas de reconstrução paleogeográfica do Barremiano (A), Eoaptiano (B), e Neoptiano pré-evaporítico (C) e evaporítico (D), mostrando as principais fases tectônicas e o desenvolvimento da sedimentação marinha no Oceano Atlântico Sul.



Fonte: Dias (2005).

3.2 Bacia do Espírito Santo

A Bacia do Espírito Santo possui depósitos representativos de todos os estágios da história evolutiva da margem leste brasileira a partir do Neocomiano (VIEIRA, 1998), sendo tipicamente de margem passiva oriunda dos esforços distensivos que culminaram na separação continental África-América do Sul. Nesta época geológica, estão representados estágios

evolutivos denominados de: Rifte ou Continental (Berriasiano a Mesoaptiano); Transicional (Neoaptiano); e Marinho (Albiano ao Recente), com ausência de registros do Pré-Rifte.

3.2.1 Tectonoestratigrafia

Três tectonossequências predominantemente siliciclásticas e uma sequência evaporítica foram identificadas por Vieira (1998) na Bacia do Espírito Santo. Enquanto as sequências siliciclásticas são compostas por leques aluviais nas porções basais, depósitos estuarinos/lagunares perfazem os topos. A sequência evaporítica, por sua vez, possui depósitos de halita na base e extensas camadas de anidrita no topo.

Vieira (1998) elaborou um modelo paleogeográfico para a Bacia do Espírito Santo como sendo um proto-oceano. Segundo este autor, nos períodos de nível de mar baixo e tectonismo mais intenso, a área era dominada por um sistema de leques aluviais. Já nos períodos de transgressão marinha, o ambiente estuarino era dominante, estando confinado por ilhas barreiras e altos estruturais. Períodos episódicos de oscilação do nível de base, somados à escassez de aporte sedimentar e a um clima árido, propiciaram a deposição de camadas evaporíticas delgadas, as quais são excelentes marcadores cronoestratigráficos. Ao fim do Aptiano, os pacotes siliciclásticos do membro foram encobertos por espessas camadas de evaporitos.

O estágio Rifte corresponde aos andares Rio da Serra a Alagoas Médio (144 a 120 Ma), tendo iniciado com a ruptura da crosta continental, a qual gerou intensa atividade tectônica e falhamentos com grandes rejeitos verticais que propiciaram o desenvolvimento de lagos profundos (ASMUS; PORTO, 1972). As formações Cricaré e Cabiúnas (rochas vulcânicas e vulcanoclásticas) são representantes desse estágio. A deposição da Fm. Cricaré foi controlada por falhamentos em ambiente predominantemente lacustre com influência aluvial e fluvial a partir das bordas de falha.

O estágio Transicional é equivalente ao Andar Alagoas Superior (115 a 111 Ma), englobando um amplo processo erosivo que modelou a topografia e condicionou a deposição na base da Formação Mariricu antes mesmo da sedimentação Neoaptiana. Nesse estágio, plataformas de embasamento raso passaram a receber aporte sedimentar clástico/evaporítico, em ambiente com tectônica relativamente estável, restringindo a atividade tectônica a porções de borda ou mais internas à bacia. Formalmente, o registro do estágio Transicional é dado pela

Fm. Mariricu e pela seção basal do Grupo Barra Nova, compreendendo os depósitos de ambiente marinho e litorâneo do Mb. Mucuri, de *sabkha* litorânea e ambiente marinho restrito do Mb. Itaúnas, e de estágios iniciais de mar aberto (VIEIRA, 1998). O ambiente deposicional da seção basal (Mb. Mucuri) do estágio Transicional envolveu um sistema de leques aluviais associados a falhas que limitam a bacia a oeste, e um sistema fluvial entrelaçado com paleocorrentes de sentido leste, desembocando por meio de deltas e *fan*-deltas em um golfo proto-oceânico. Períodos marinhos transgressivos são comuns, os quais se associam a camadas de sedimento siliciclástico retrabalhadas por ondas e marés, esteiras microbiais e anidritas que se intercalam com os arenitos. Estruturas localmente compressivas foram geradas por um pulso tectônico de componente horizontal que atingiu as bacias do Espírito Santo e Mucuri (VIEIRA; COSTA; ALVES, 1992).

O estágio Marinho ocorreu desde o Albiano (111 Ma) até o Recente, apresentando um grande ciclo deposicional segundo uma fase de subsidência gradual e constante, que contrasta com o estágio Transicional. Geotectonicamente, o estágio Marinho representa a separação definitiva dos continentes (VIEIRA, 1998).

3.2.2 Evolução Depositional

Segundo França et al. (2007), o embasamento da Bacia do Espírito Santo situa-se a sudeste do Cráton São Francisco, fazendo parte da Faixa Araçuaí, de forma a integrar o setor norte da Província da Mantiqueira (Cinturão Atlântico Costeiro). O embasamento engloba rochas infracrustais de idade arqueana pertencentes ao Cráton do São Francisco - migmatitos, granulitos, gnaisses granatíferos e granitoides que sofreram retrabalhamento parcial nos ciclos Transamazônico e Brasileiro. A estruturação geral do embasamento é de direção NNE-SSW, fator condicionado pelo sistema de riftes oriundos da época de formação da bacia. Muitos poços, terrestres em grande maioria, tiveram o embasamento amostrado, inclusive testemunhado algumas vezes. Apesar disto, a porção submersa média e distal da bacia não foi atingida, devido às suas grandes profundidades.

A Bacia do Espírito Santo é composta, sequencialmente em idade, pelos grupos Nativo, Barra Nova e Espírito Santo, como pode ser observado na Figura 2. O Grupo Nativo é de interesse do presente trabalho, porque inclui o Membro Mucuri. Para Vieira et al. (1994), o Grupo Nativo, cuja denominação foi sugerida por Asmus, Gomes e Pereira (1971), refere-se a

um pacote sedimentar de clásticos grossos, folhelhos e bancos de calcários não marinhos, situado entre o embasamento da Bacia do Espírito Santo e os folhelhos da Formação Urucutuca. Tal grupo consiste nas formações Cricaré e Mariricu (Figura 2), reunindo os sedimentos depositados durante as fases rifte e transicional da bacia.

A Formação Cricaré corresponde aos depósitos sedimentares mais antigos da bacia, os quais assentam invariavelmente diretamente sobre o embasamento cristalino (VIEIRA; COSTA; ALVES, 1992), sendo equivalente à Superssequência Rifte (sequências K20 e K30) de França et al. (2007). De maneira geral, a Formação Cricaré é formada por arenitos cinzentos médios a conglomeráticos e conglomerados arcoseanos, intercalados a folhelhos cinzentos calcíferos, siltitos, coquinas, calcilutitos brancos e dolomitos creme (VIEIRA et al., 1994). Essa formação compreende os membros Jaguaré e Sernambi. O Membro Jaguaré é dominado por arenitos e conglomerados por vezes intercalados com os derrames basálticos, rochas vulcanoclásticas e tufos da Formação Cabiúnas nas fases tectonicamente mais ativas. O Membro Sernambi é constituído por muitas camadas de folhelhos, carbonatos e margas intercalados com arenitos e conglomerados e eventuais coquinas depositadas nos altos estruturais, indicando fases de quiescência tectônica. Os contatos de base e topo da Fm. Cricaré são discordantes, tanto com o embasamento quanto com o Mb. Mucuri. Segundo Vieira et al. (1994), a Discordância Pré-Neoalagoas separa a Fm. Cricaré do Mb. Mucuri, embora estas unidades sejam litologicamente muito similares. Dados palinológicos e de ostracodes sugerem idades entre os andares Rio da Serra e Eoalagoas para a Fm. Cricaré, a qual pode ser correlacionada parcialmente com a Fm. Lagoa Feia (Bacia de Campos), e com as formações Guaratiba e Cassino, nas bacias de Santos e Pelotas, respectivamente. A porção superior da Fm. Cricaré, Sequência K30 (Figura 2) está restrita às regiões mais profundas dos Paleocânions de Fazenda Cedro, Regência e Plataforma de Regência, havendo uma tendência de maior espessamento e aprofundamento em direção à porção *offshore*. A partir de dados sísmicos existentes, estima-se que toda a seção da Formação Cricaré pode chegar a espessuras em torno de 3500 m.

A Formação Mariricu, designada por Asmus, Gomes e Pereira (1971), corresponde ao pacote de rochas compreendido entre o embasamento e o topo dos evaporitos. Como pode ser visto na Figura 2, esta unidade é composta pelos membros Mucuri e Itaúnas, depósitos mais novos que assentam discordantemente aos sedimentos da Formação Cricaré ou ao embasamento, segundo Vieira, Costa e Alves (1992). O contato superior da Formação Mariricu é discordante com a Fm. Urucutuca e com a Fm. Rio Doce, na porção oeste da bacia, e concordante com as rochas do Grupo Barra Nova (VIEIRA et al., 1994). Ostracodes e

palinomorfos sugerem idade referente ao Nealagoas para a Formação Mariricu. O membro basal desta formação, Mucuri, possui rochas clásticas grossas (arenitos e conglomerados) intercaladas com folhelhos e níveis evaporíticos (VIEIRA, 1998), enquanto o superior Itaúnas compreende espessas camadas de evaporitos, onde há predominância de anidrita e carbonatos na porção oeste da bacia, e de halita nas porções mais distais, a leste. As maiores espessuras da sequência evaporítica da Fm. Mariricu estão registradas na plataforma continental, onde domos e muralhas de sal foram gerados por intensa halocinese (VIEIRA et al., 1994). O Andar Alagoas Superior da Bacia do Espírito Santo possui análogos em outras bacias da costa do Brasil, a exemplo das formações Taipus-Mirim (Bacia de Camamu-Almada) e Muribeca (Bacia de Sergipe).

3.3 Membro Mucuri

O Membro Mucuri equivale à porção basal da Formação Mariricu (Figura 2) e seus sedimentos tem ampla ocorrência em toda a área emersa e marinha proximal da Bacia do Espírito Santo (VIEIRA, 1998), exceto na parte oeste, próximo ao limite exploratório, onde se acunham contra o embasamento. O Membro Mucuri pode estar em contato direto com o embasamento cristalino, nas áreas de embasamento raso, ou recobrando a Fm. Cricaré, limitando-se pelas discordâncias Alagoas e Base dos Evaporitos, respectivamente na base e no topo. Os sedimentos do Mb. Mucuri podem alcançar espessuras maiores que 500 m, sendo predominantemente compostos por rochas siliciclásticas finamente intercaladas com rochas evaporíticas. A boa distribuição e caráter aproximadamente síncrono dos delgados níveis de evaporitos permitiram a subdivisão do membro em três unidades. Calhas de direção NW-SE a N-S exerceram forte controle no Mb. Mucuri, as quais foram reativadas por falhamentos normais ao longo de todo o período deposicional do membro.

De maneira abrangente, no Membro Mucuri, a deposição continental predominou nas porções mais proximais (oeste) da bacia terrestre e na água rasa, com predominância de arenitos grossos a conglomeráticos mal selecionados e conglomerados de sistemas dominados por leques aluviais e canais fluviais. Para sul e leste, a granulometria dos sedimentos mais grossos diminui, e a alternância com clásticos mais finos e o grau de seleção aumentam com o afastamento da área fonte. Portanto, a parte distal do membro é marcada pela passagem gradativa de sistemas deposicionais continentais para transicionais, depositados em ambiente

raso sob relativa quiescência tectônica, onde há intercalações plano-paralelas de folhelhos esverdeados, calcilutitos e arenitos finos. Depósitos estuarinos e lagunares retrabalhados por maré e ondas ocorrem intercalados aos depósitos siliciclásticos grossos. Uma vez que os depósitos mais distais do membro sobrepõem rochas evaporíticas e correlatas, o sul e o leste do Mucuri representam um afogamento do sistema, intercalado por períodos curtos de extrema aridez climática somada à deficiência de aporte sedimentar. Nota-se um espessamento do Membro Mucuri para leste, em direção ao depocentro da bacia, podendo chegar a 2000 m (VIEIRA, 1998; FRANÇA et al., 2007).

Para França et al. (2007), o Membro Mucuri insere-se na Superssequência Pós-Rifte, Sequência K40, cuja deposição ocorreu durante o Eo e Mesoaptiano (Andar Local Alagoas Inferior a Médio). A partir de amostras de poços e testemunhos da bacia terrestre, Vieira (1998) identificou três unidades deposicionais internas ao Membro Mucuri, separadas entre si por discordâncias angulares. São elas: Inferior (MUC-3), Intermediária (MUC-2) e Superior (MUC-1). A Unidade Inferior foi controlada por intenso tectonismo remanescente da fase rifte, correspondendo às fácies média a distal de leques aluviais e mais proximais do sistema fluvial entrelaçado. Esta unidade é composta por ortoconglomerados polimíticos na base, que gradam para arenitos arcoseanos grossos e depois para arenitos finos e siltitos, culminando em um nível de anidrita e/ou carbonato brechado. A Unidade Intermediária representa um afogamento progressivo da Unidade Inferior, contemplando arenitos basais, sílticos e arenitos finos a muito finos. O limite superior da Unidade Intermediária é definido por uma camada de anidrita ou carbonato, marcando discordância angular em alguns pontos da bacia. A variação das isópacas indica alguma influência de altos do embasamento na sedimentação desta unidade. A Unidade Superior formou-se a partir de um sistema de lagunas com planícies lamosas que evoluiu para o ambiente evaporítico do tipo *sabkha*, onde ocorrem, localmente, arenitos finos a grossos oriundos de depósitos de praia e planícies arenosas do sistema lagunar.

4. METODOLOGIA

A metodologia usada no presente trabalho envolveu etapas sequenciais, as quais convergiram para a geração de produtos que, quando integrados, levam à compreensão da complexidade da evolução deposicional do Membro Mucuri na área de estudo. As etapas de manipulação do dado sísmico aqui apresentadas foram embasadas na sistemática de análise sismoestratigráfica proposta por Mitchum e Vail (1977). Segundo estes autores, a estratigrafia sísmica é a interpretação estratigráfica a partir de um dado sísmico. Os conceitos geológicos são diretamente aplicados, portanto, na estratigrafia física, uma vez que as reflexões sísmicas primárias são geradas principalmente pelo contraste de velocidade e densidade de estratos e discordâncias.

A integração da alta resolução sísmica com o levantamento 3D permite um excelente detalhamento espacial e a caracterização hierárquica de unidades dentro de um complexo arcabouço estratigráfico (KUCHLE; SCHERER, 2010). Visto isto, para análise sismoestratigráfica do Membro Mucuri no cubo sísmico Fazenda Cedro, foram escolhidas cinco linhas sísmicas - sendo elas três delas *dip* e duas *strike* - a partir da observação de feições sísmicas mais evidentes, e segundo um espalhamento uniforme na área de estudo. Os dados sísmicos e dos poços utilizados neste trabalho foram adquiridos pelo Projeto Mucuri - pela concessão da Agência Nacional de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (ANP) - carregados, processados e submetidos a um controle de qualidade com o uso do *software Petrel*. O carregamento, bem como o processamento desses dados, foi efetuado no *Seislab (Seismic Stratigraphy Laboratory)*, na UFRGS. A amarração dos poços ao volume sísmico pela técnica de *checkshot* foi feita para profundidade sísmica em tempo duplo.

É importante citar a etapa metodológica de revisão bibliográfica como uma constante na elaboração deste projeto temático. Essa etapa teve como objetivo pesquisar artigos, periódicos, teses, livros e afins sobre a evolução da Bacia do Espírito Santo com enfoque no Membro Mucuri, e que contemplassem o conhecimento em sismoestratigrafia e estratigrafia de sequências.

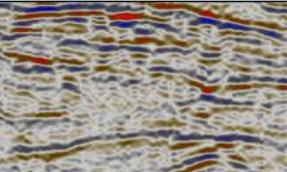
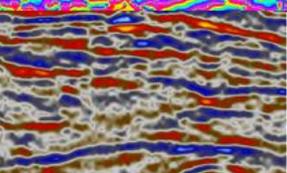
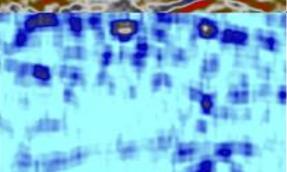
Para a produção das figuras, quadros e tabela desta monografia, foram utilizados os *softwares Petrel, Adobe Illustrator, Excel*. O mapa de localização do trabalho (Figura 1) foi gerado no *ArcGIS*, com edição no *Adobe Illustrator*.

4.1 Atributo Sísmico: uma ferramenta interpretativa

Segundo Ramirez et al. (2015), atributos sísmicos são descrições matemáticas da forma característica de um traço sísmico em intervalos específicos de tempo, permitindo aos intérpretes retirar mais informações dos dados sísmicos. Em outras palavras, um atributo sísmico é uma quantidade extraída ou derivada do dado sísmico, sendo uma forma alternativa de visualizar os dados de reflexão, normalmente representados em amplitude. É uma ferramenta muito útil na interpretação sísmica, uma vez que pode aumentar a razão sinal/ruído, detectar descontinuidades, reforçar a continuidade dos refletores sísmicos e evidenciar indicadores diretos de hidrocarbonetos nos dados sísmicos originais.

No presente trabalho, foram utilizados os seguintes atributos sísmicos do *software Petrel*: *Cosine Phase*, *Instantaneous Phase*, *Relative Acoustic Impedance (RAI)* e *Root Mean Square (RMS) Amplitude*. A metodologia aplicada envolveu a superposição destes atributos sísmicos ao dado original (*Normal Phase*), de forma a aumentar a confiabilidade no reconhecimento de terminações de refletores, unidades sismoestratigráficas e suas superfícies limitantes, falhas e sismofácies. O Quadro 1 mostra o aspecto visual de cada um dos atributos mencionados, bem como de que forma eles podem contribuir na interpretação do dado sísmico, segundo Alvarenga (2016).

Quadro 1 - Organização ilustrativa dos atributos sísmicos utilizados no *software Petrel* e suas características.

Atributo	Expressão	Características
<i>Normal Phase</i>		Dado sísmico original. Permite análises estrutural, estratigráfica, de sismofácies e geração de atributos.
<i>Cosine Phase</i>		Evidencia a continuidade dos refletores e melhora a visualização de falhas e sequências estratigráficas. Bom para observação de terminações de refletores, variações laterais e de sismofácies.
<i>Instantaneous Phase</i>		Melhora a percepção da continuidade dos refletores, descontinuidades, falhas e transições litológicas. Padrões estratigráficos sísmicos são mais facilmente identificados.
<i>RAI (Relative Acoustic Impedance)</i>		É usado para calibração, uma vez que simula o ln (log natural) da impedância acústica. Evidencia limites de sequência e discordâncias. Pode estar relacionado à porosidade ou à presença de fluidos em subssuperfície.
<i>RMS (Root Mean Square Amplitude)</i>		Provê informações quanto à energia do dado sísmico, usado para distinção de litologia e porosidade.

Fonte: modificado de Ramirez et al. (2015).

4.2 Sistemática da Análise Sismoestratigráfica

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão requereu a realização de etapas metodológicas feitas de maneira sistemática, que, quando complementadas, levam ao entendimento da evolução do Membro Mucuri dentro do volume sísmico interpretado.

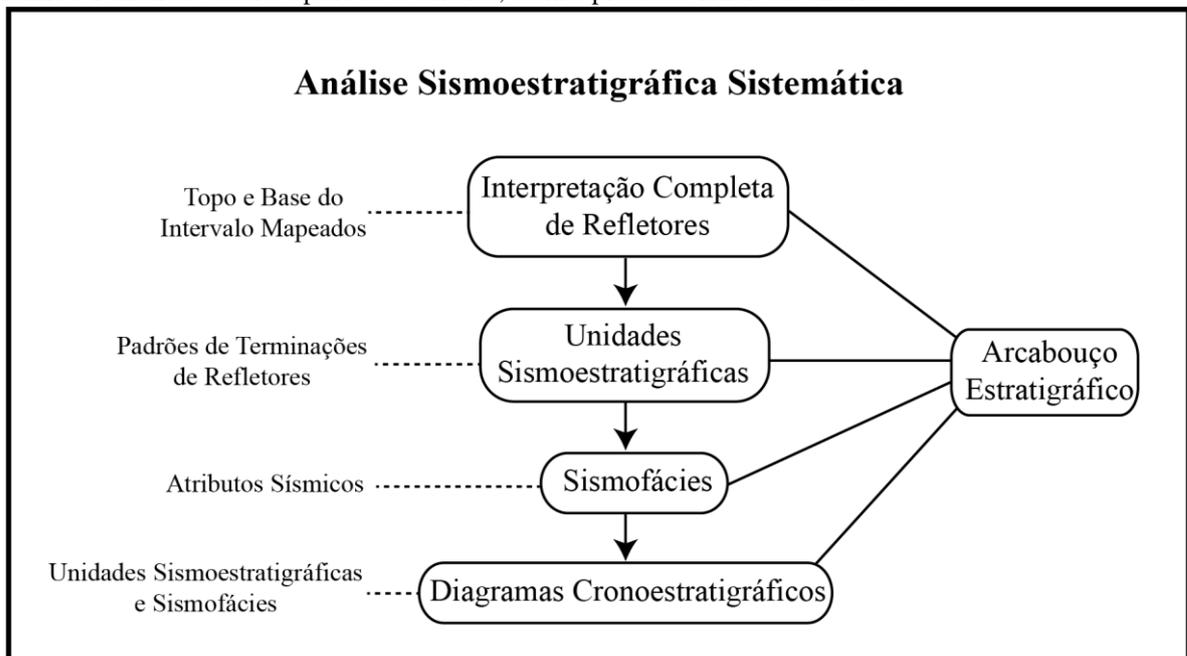
Dada a sucessão de camadas sedimentares em subssuperfície, onde as mais antigas sotopõem as mais jovens, uma seção sísmica trata-se de um registro cronoestratigráfico deposicional e estrutural, não litoestratigráfico (VAIL; TODD; SANGREE, 1977). Considerando o caráter cronocorrelato das reflexões sísmicas, é possível não só interpretar deformações estruturais pós-deposicionais, como também associar os padrões correlatos geométricos de reflexão para fazer os seguintes tipos de interpretação estratigráfica: (1) correlação de tempo geológico; (2) definição de unidades deposicionais cogenéticas; (3)

espessura e sistema deposicional de unidades cogenéticas; (4) paleobatimetria; (5) história de soterramento; (6) relevo ou topografia de discordâncias; e (7) paleogeografia e história geológica quando combinadas com dados geológicos.

A fim de atingir os objetivos interpretativos supracitados, a metodologia proposta por Mitchum e Vail (1977) contempla três grandes etapas: (1) análise sísmica de sequências; (2) análise de sismofácies; e (3) análise da variação do nível relativo do mar. Para tanto, a análise sísmica de sequências, neste trabalho, incluiu primariamente a delimitação do intervalo de estudo ao longo de todo o dado sísmico. Uma vez que os limites superior e inferior do Membro Mucuri foram mapeados, a interpretação completa dos refletores internos e o reconhecimento de unidades sismoestratigráficas foram feitos para cinco linhas sísmicas, concretizando a primeira grande etapa da metodologia, descrita nas seções 4.2.1, 4.2.2 e 4.2.3 desta monografia.

A etapa de análise de sismofácies está inserida na Seção 4.2.4, enquanto a etapa de análise da variação do nível relativo do mar está vinculada à confecção de diagramas cronoestratigráficos, como caracterizada na Seção 4.2.5. A Figura 6 mostra o passo a passo da análise sismoestratigráfica aplicada de maneira esquemática.

Figura 6 - Fluxograma da metodologia de análise sismoestratigráfica utilizada, baseada em Mitchum e Vail (1977), onde os dados de entrada necessários para realização de cada etapa analítica estão à esquerda, as etapas no meio, e a geração do arcabouço estratigráfico do cubo sísmico Fazenda Cedro aparece à direita, como produto final da análise.



4.2.1 Delimitação do Intervalo de Estudo

A análise sismoestratigráfica do volume sísmico 3D Fazenda Cedro começa com a delimitação do intervalo de estudo a partir do mapeamento de topo e base do Membro Mucuri. Com o auxílio da ferramenta *Manual Interpretation do software Petrel*, 21 linhas sísmicas *inline* (sentido *dip*) e 50 *crossline* (sentido *strike*) foram mapeadas. Os parâmetros de mapeamento utilizados, bem como as superfícies geradas de topo e base, estão descritos na Seção 5.1 desta monografia.

4.2.2 Mapeamento Completo de Refletores e Suas Terminações

Conforme Mitchum, Vail e Thompson (1977), o rastreamento das terminações estratiais - tendo como base as relações geométricas entre os estratos e as superfícies estratigráficas contra as quais eles terminam - é o principal critério para o reconhecimento de unidades sismoestratigráficas. A partir da mudança nos padrões de reflexão internos, são traçadas unidades sismoestratigráficas, as quais agrupam padrões distintos e são separadas entre si por superfícies de caráter cronoestratigráfico.

Os tipos de terminações de refletores discordantes (Figura 7) existentes são: *onlap*, *downlap*, *toplap* e truncamento erosivo. A terminação relativa ao limite inferior de uma sequência é chamada de *baselap*, a qual é subdividida em *onlap* e *downlap*. *Onlap* é uma terminação basal onde estratos inicialmente horizontais ou inclinados terminam em uma superfície de maior inclinação. *Downlap* é uma terminação de limite inferior na qual estratos originalmente inclinados terminam mergulhando contra uma superfície horizontal ou inclinada. O termo *baselap*, por ser mais inclusivo, é utilizado quando uma intensa deformação impede a distinção entre as terminações dos tipos *onlap* e *downlap*. (MITCHUM; VAIL; THOMPSON, 1977).

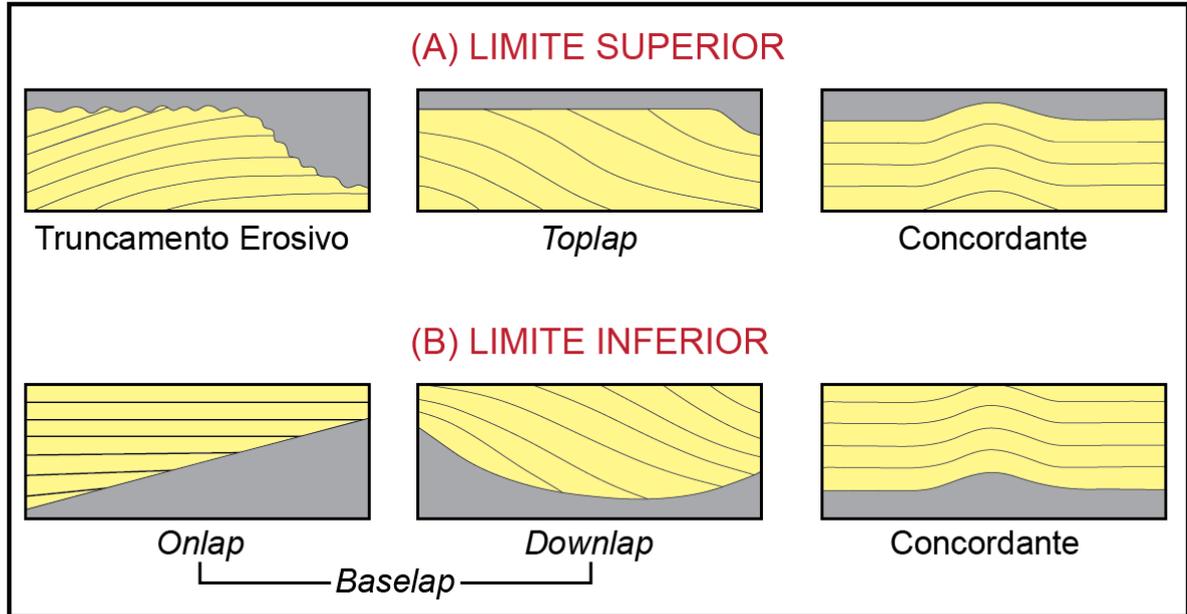
Toplap é uma terminação de limite superior, localizada em extensão e por vezes não correlacionável regionalmente, onde reflexões originalmente inclinadas abruptamente encontram em alto ângulo uma superfície superior (MITCHUM; VAIL; THOMPSON, 1977). Uma terminação do tipo truncamento pode ser erosiva ou estrutural. A distinção entre ambos os truncamentos pode ser difícil, contudo é vital quando do início de uma análise

sismoestratigráfica. Um truncamento erosivo ocorre no limite superior de uma sequência deposicional, quando os estratos terminam lateralmente por erosão, de forma a ser uma evidência de um hiato erosivo que subentende deposição e remoção de sedimentos ao longo de uma superfície discordante. Ao mesmo tempo em que uma superfície erosiva pode produzir uma reflexão por si própria, é possível a ausência de uma reflexão indicativa de erosão, o que sugere uma sistematização das reflexões sotopostas para a sua definição. Apesar disto, o truncamento erosivo é o critério mais confiável de limite superior de uma sequência deposicional. Um truncamento estrutural ocorre quando os estratos terminam lateralmente por rompimento estrutural, não contendo, portanto, importância cronoestratigráfica significativa.

Todos os padrões de limites superior e inferior de refletores mencionados anteriormente estão ilustrados na Figura 7. Em contrapartida, padrões sem sistemática reflexiva, oriundos de convergência interna por adelgaçamento estratal até a perda da resolução sísmica, não devem ser confundidos com as terminações ao longo das sequências. O contraste velocidade-densidade é um pré-requisito para que discordâncias sejam reconhecidas, e define a continuidade ou descontinuidade de suas repostas sísmicas (VAIL; TODD; SANGREE, 1977). Discordâncias angulares podem ser identificadas no dado sísmico por meio da discordância entre o truncamento das reflexões sotopostas e as terminações dos tipos *onlap* e *downlap* sobrepostas a ela. Discordâncias não angulares comumente apresentam reflexões fortes, devido à interferência das reflexões acima e abaixo delas, e são geralmente traçadas a partir de áreas com relação angular.

No presente trabalho, a aplicação da primeira etapa da metodologia de Mitchum e Vail (1977) parte do intervalo de estudo já mapeado no *software Petrel*, de onde cinco linhas sísmicas foram extraídas e transferidas com alta qualidade de resolução para o *software Adobe Illustrator*. Neste último programa, ao longo das cinco linhas selecionadas, todos os refletores internos foram mapeados, por meio do reconhecimento de padrões de terminação de refletores elucidados na Figura 7. O mapeamento completo dos refletores está detalhado na Seção 5.2.

Figura 7 - Padrões de terminação de refletores de limite superior (truncamento erosivo, *toplap* e concordante) e inferior (*onlap*, *downlap* e concordante) de uma sequência sísmica/sequência deposicional.



Fonte: modificado de Mitchum, Vail e Thompson (1977).

4.2.3 Reconhecimento de Unidades Sismoestratigráficas

Segundo Mitchum, Vail e Sangree (1977), sequências sísmicas são pacotes de reflexões concordantes separados por superfícies descontínuas operacionalmente determinadas por sucessões de terminações de refletores. Esses pacotes são sequências deposicionais - estratos cogenéticos delimitados na base e no topo por não conformidades e suas concordâncias relativas - em subsuperfície, condicionadas à interpretação de dados sísmicos. Em contrapartida, quando a sequência sísmica original de Mitchum, Vail e Sangree (1977) é comparada aos modelos posteriores da estratigrafia de sequências (sensu POSAMENTIER; JERVEY; VAIL, 1988; VAN WAGONER et al., 1988), a sequência sísmica seria compatível com as unidades internas da sequência deposicional – os tratos de sistemas. Por isto, atualmente, o procedimento de reconhecimento de unidades nas seções sísmicas utilizando as técnicas de Mitchum e Vail (1977) continua válido. Contudo, essas unidades são preferencialmente denominadas aqui como unidades sismoestratigráficas, conforme Brown e Fisher (1977), em um conceito embrionário dos tratos de sistemas. A etapa metodológica de individualização das unidades sismoestratigráficas é de suma importância na análise sismoestratigráfica do Membro Mucuri, uma vez que fornece os seguintes elementos: (1) a geometria da unidade fornece o contexto

paleogeomorfológico no qual ela foi depositada; (2) a disposição espacial das unidades mostra o arranjo arquitetural dos sistemas deposicionais durante o preenchimento do membro; e (3) o empilhamento das unidades, por meio do estabelecimento de suas idades relativas, permite desenvolver um controle temporal das seções analisadas (KUCHLE; SCHERER, 2010).

As superfícies estratigráficas marcam alterações nos padrões de empilhamento e podem servir como limites de tratos de sistemas (CATUNEANU et al., 2011). Em paralelo a isto, as unidades sismoestratigráficas são unidades deposicionais relacionadas a um intervalo de tempo específico e distinto das unidades sotopostas e sobrepostas a elas (RAMIREZ et al., 2015). Sequências de superfícies estratigráficas são fundamentais na construção do arcabouço cronoestratigráfico do Mb. Mucuri no volume sísmico investigado. Alguns critérios metodológicos usados para identificação de tais superfícies são: (1) a natureza do contato (conformável ou discordante); (2) a natureza dos sistemas de deposição que estão em contato com toda a superfície; (3) tipos de terminações dos refletores associados a essa superfície; e (4) as tendências de deposição identificadas acima e abaixo da superfície de contato (CATUNEANU, 2006).

Neste trabalho, a etapa de identificação de superfícies com significado cronoestratigráfico também foi feita com o uso do *software Adobe Illustrator*, pelo reconhecimento da mudança sistemática de padrões de terminação de refletores, para topo e base de cada unidade sismoestratigráfica reconhecida. É importante citar que nem todos os limites de unidades sismoestratigráficas representam discordâncias, podendo apenas separar eventos deposicionais distintos e temporalmente sucedidos (KUCHLE; SCHERER, 2010).

4.2.4 Reconhecimento de Sismofácies

A próxima etapa da metodologia de análise sismoestratigráfica consiste na análise de sismofácies, unidades tridimensionais que envolvem grupos de reflexões sísmicas mapeáveis cujos parâmetros - como configuração, amplitude, continuidade, frequência, e velocidade intervalar - diferem dos grupos adjacentes (MITCHUM; VAIL; SANGREE, 1977). O agrupamento desses parâmetros como sismofácies sugere o sistema deposicional e o contexto geológico do volume interpretado. Nessa etapa também, a partir dos padrões de terminação de refletores e das unidades sismoestratigráficas, é possível reconhecer superfícies com significado cronoestratigráfico, tratos de sistema, preenchimentos e padrões de empilhamento. Desta

forma, uma vez que as sismofácies são descritas e mapeadas, o intérprete torna-se capaz identificar processos sedimentares e configurações de ambientes deposicionais.

O Quadro 2 elucida de forma concisa como cada parâmetro físico das reflexões é relacionado à interpretação geológica do dado sísmico. Na etapa de análise de sismofácies, cada parâmetro fornece informações consideráveis para a geologia de subssuperfície. Para tanto, segundo Mitchum, Vail e Sangree (1977), algumas relações podem ser estabelecidas: (1) a continuidade das reflexões é associada à continuidade dos estratos; (2) a amplitude reflete o contraste velocidade-densidade, fator preditivo de variações laterais e hidrocarbonetos; e (3) a frequência tem relação com a velocidade intervalar dos pulsos sísmicos, podendo indicar presença de gás, por exemplo. Em síntese, o agrupamento dos parâmetros supracitados no mapeamento de sismofácies permite uma interpretação em termos de ambiente deposicional, área fonte, e contexto geológico.

As reflexões das sismofácies incluem geometrias internas (Figura 8) do tipo paralela a subparalela, divergente, progradante, caótica, e padrões não reflexivos (MITCHUM; VAIL; SANGREE, 1977). O tipo progradante pode ser subdividido em sigmoidal, oblíquo, complexo sigmoidal-oblíquo, *shingled*, e clinofomas do tipo *hummocky*.

As unidades de sismofácies ainda possuem padrões de geometria externa (Figura 9) do tipo lençol, lençol drapeado, cunha, banco, lente, montiforma e formas de preenchimento (MITCHUM; VAIL; SANGREE, 1977). Em termos de ambiente deposicional, essas unidades são interpretadas pela energia média de deposição e pelo potencial litológico contido nos estratos correspondentes aos padrões reflexivos das sismofácies.

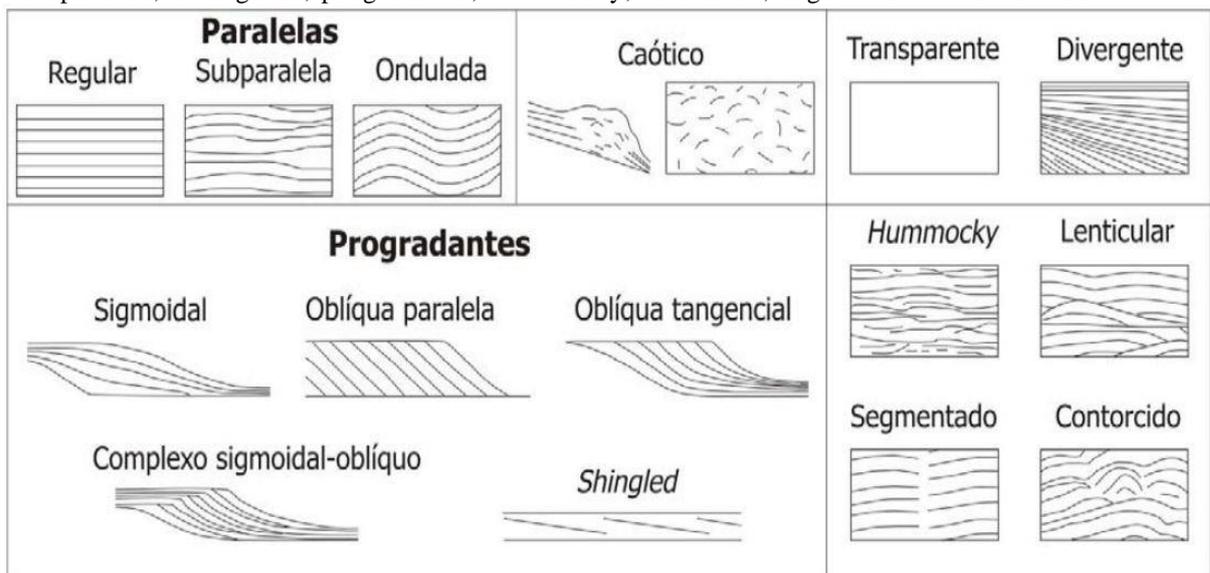
Para o reconhecimento das sismofácies no volume sísmico Fazenda Cedro, fez-se uso especial dos atributos sísmicos (Quadro 1) nas cinco linhas sísmicas interpretadas. No *software Adobe Illustrator*, a partir da sobreposição das imagens dos atributos extraídas do *Petrel*, as sismofácies foram primeiramente separadas de forma grosseira com o uso do atributo *Cosine Phase*. Um refinamento foi feito com o atributo *RAI* e, em seguida, fez-se o reajuste das sismofácies às unidades sismoestratigráficas previamente traçadas. Este processo foi repetido, a fim de manter coerência e confiabilidade na delimitação das sismofácies reconhecidas.

Quadro 2 - Parâmetros de reflexões sísmicas usados para caracterizar sismofácies e significados geológicos associados.

PARÂMETROS DAS SISMOFÁCIES	INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA
Configuração das Reflexões	<ul style="list-style-type: none"> • Padrões de Acamadamento • Processos Depositionais • Erosão e Paleotopografia • Contato com Fluidos
Continuidade	<ul style="list-style-type: none"> • Continuidade dos Estratos • Processos Depositionais
Amplitude	<ul style="list-style-type: none"> • Contraste Velocidade-Densidade • Espaçamento das Camadas • Presença de Fluidos
Frequência	<ul style="list-style-type: none"> • Espessura das Camadas • Presença de Fluidos
Velocidade Intervalar	<ul style="list-style-type: none"> • Estimativa da Litologia • Estimativa da Porosidade • Presença de Fluidos
Forma Externa e Associação das Sismofácies	<ul style="list-style-type: none"> • Ambiente Geral de Deposição • Área Fonte • Contexto Geológico

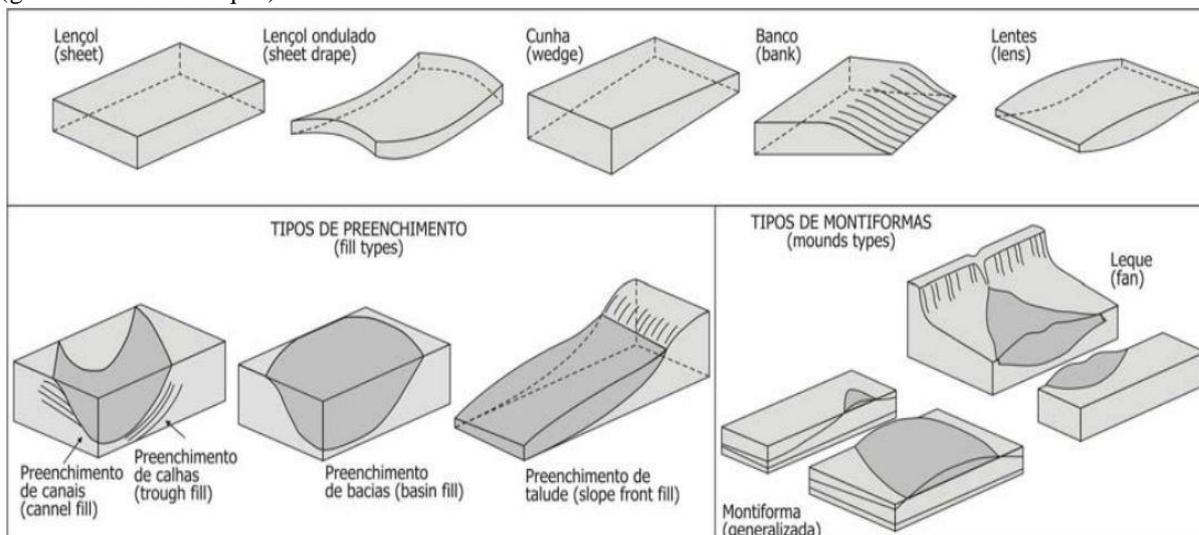
Fonte: modificado de Mitchum, Vail e Sangree (1977).

Figura 8 - Tipos de geometria interna de sismofácies, dados em configurações paralela, caótica, transparente, divergente, progradante, hummocky, lenticular, segmentada e contorcida.



Fonte: modificado de Mitchum, Vail e Sangree (1977).

Figura 9 - Padrões de geometria externa de sismofácies (lençol, lençol ondulado, cunha, banco e lenticular), seus tipos de preenchimento (em canal, de bacia e de talude) e de montiformas (generalizada e leque).



Fonte: modificado de Mitchum, Vail e Sangree (1977).

4.2.5 Elaboração de Diagramas Cronoestratigráficos

Em um diagrama temporal, a ordenação das unidades sismoestratigráficas mapeadas fornece a carta cronoestratigráfica de eventos, conforme determinado inicialmente por Wheeler (1958) e adaptado para o contexto sísmico por Vail, Mitchum e Thompson (1977). Embora as unidades sismoestratigráficas mapeadas possuam uma ordenação e contextualização temporal, não se dispõe de uma determinação absoluta de sua idade, visto que seria necessária a utilização de métodos de datação radiométrica ou bioestratigráfica para estabelecer seus intervalos de tempo geológico, o que não contempla o escopo deste trabalho. A construção de cartas cronoestratigráficas para seções sísmicas viabilizam interpretações complexas, constituindo arranjos espaciais (eixo x) e temporais (eixo y), possibilitando que haja correlação entre feições e controles sedimentares. Adicionalmente, as cartas evidenciam a distribuição de fácies e ambientes deposicionais, bem como hiatos deposicionais/erosivos.

Neste trabalho, foram elaborados três diagramas cronoestratigráficos, ou cartas cronoestratigráficas, no *software Adobe Illustrator*, um para cada seção *dip* interpretada. Cada unidade sismoestratigráfica foi considerada uma linha de tempo. Em outras palavras, cada linha das cartas cronoestratigráficas confeccionadas representa um mesmo evento deposicional. Considerando que as sismofácies são os sistemas deposicionais das seções sísmicas, as cartas cronoestratigráficas deste projeto temático foram elaboradas conforme a distribuição e a

ocorrência das sismofácies identificadas ao longo das unidades sismoestratigráficas. Desta maneira, a construção dos diagramas cronoestratigráficos foi feita por meio da análise das terminações dos refletores nos limites das unidades sismoestratigráficas, onde terminações do tipo *onlap* e *downlap* foram representadas por acunhamento nas extremidades dos diagramas. Os truncamentos erosivos identificados nas seções foram transcritos como eventos erosivos nos diagramas, ou seja, espaços em branco entre as linhas de tempo relativo de deposição.

4.3 Geração de Mapas

Posteriormente à confecção das cartas cronoestratigráficas para as seções *dip*, as unidades sismoestratigráficas identificadas nas seções *dip* e *strike* foram cuidadosamente transcritas do *Adobe Illustrator* para o *Petrel*. A partir da transposição das superfícies de topo e base de cada unidade com o uso da ferramenta *Manual Interpretation*, no *Petrel* foram criados novos horizontes sísmicos para cada topo e cada base de unidade. A interpretação foi estendida para todo o cubo sísmico Fazenda Cedro, com espaçamento de mapeamento de 10 em 10 linhas, usando o princípio de cruzamento entre as linhas, e observando padrões de terminações de refletores contra as superfícies mapeadas. A partir dos horizontes sísmicos criados, foram geradas superfícies para cada um deles, assim, dando origem aos mapas de topo do intervalo de estudo e de cada unidade sismoestratigráfica (US) - contidos no Capítulo 6 desta monografia. Posteriormente, as superfícies de topo e base de cada US serviram como dado de entrada para o desenvolvimento dos mapas de isócronas para cada uma delas.

4.4 Integração dos Resultados

A etapa metodológica de integração dos resultados finais de cada etapa posterior realizada neste trabalho unificou todas as seções sísmicas geradas a partir do mapeamento de superfícies, da análise de terminações de refletores e falhas, do reconhecimento de unidades sismoestratigráficas, da identificação de sismofácies e da elaboração de cartas cronoestratigráficas. Adicionalmente, o mapeamento sísmico direcionado das unidades sismoestratigráficas identificadas por toda a área de estudo proporcionou maior robustez para

o método da análise sismoestratigráfica. Portanto, os produtos da análise sismoestratigráfica sequencial, somados à integração de dados feita na etapa de mapeamento sísmico, possibilitaram a construção de um modelo do arcabouço estratigráfico e da evolução sedimentar do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro.

4.5 Produtos Metodológicos

A sistemática de individualização de unidades sismoestratigráficas, baseada nos padrões de truncamento de refletores, integrada à observação dos padrões de empilhamento por meio das relações geométrica e espacial das sismofácies, bem como da atribuição temporal das unidades sismoestratigráficas, levam à confecção de um diagrama cronoestratigráfico. A conexão e a interpretação de todos os produtos gerados ao longo das etapas metodológicas realizadas convergem para o modelamento do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro, objetivo final deste projeto temático. O Quadro 3 mostra de forma resumida como cada etapa da análise sismoestratigráfica leva aos objetivos específicos deste trabalho.

Quadro 3 - Objetivos específicos alcançados para cada etapa realizada da metodologia utilizada.

ETAPAS METODOLÓGICAS	OBJETIVOS ATINGIDOS
Terminações de Refletores	Delimitar unidades sismoestratigráficas a partir de não conformidades e padrões deposicionais.
Individualização de Unidades Sismoestratigráficas	Contextualizar paleogeomorfologicamente a deposição e reconhecer o arranjo arquitetural durante a deposição e a movimentação da linha de costa.
Sismofácies	Observar padrões de empilhamento de sistemas deposicionais e suas relações geométricas e espaciais.
Diagramas Cronoestratigráficos	Arranjar temporal e espacialmente as unidades sismoestratigráficas.
Integração e Interpretação dos Produtos Gerados	Elaborar um modelo evolutivo robusto de deposição para o Mb. Mucuri no cubo sísmico 3D Fazenda Cedro.

4.6 Precisão e Resolução

O método de análise sismoestratigráfica aplicado ao presente trabalho trata-se de uma ferramenta metodológica simples, direta, robusta e baseada em conceitos bem determinados, onde o dado observado tem sua individualidade e sua importância real devidamente preservadas, com liberdade de interpretação mantida dentro dos limites conceituais vigentes (RAMIREZ et al., 2015).

O volume sísmico 3D Fazenda Cedro interpretado possui média resolução, o que é condizente com a escala que o projeto propõe. Em média, cada refletor equivale a 30 m de espessura. As linhas sísmicas analisadas encontram-se no intervalo entre -600 e -2400 milissegundos (ms), com profundidade dada em tempo sísmico duplo (*two-way traveltime - TWT*). O *range* de frequência do dado perfaz de 0 Hz (profundidades maiores) até 50 Hz (profundidades menores). Ainda, como todo método geofísico, deve-se considerar que há perda de precisão conforme a profundidade aumenta.

5. ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA – RESULTADOS E DISCUSSÕES

As linhas sísmicas escolhidas para a realização de análise sismoestratigráfica, cujo passo a passo está no Capítulo 4 desta monografia, foram: *Inline* 40 (IN40), *Inline* 110 (IN110), *Inline* 180 (IN180), *Crossline* 150 (CS150) e *Crossline* 350 (CS350). No volume sísmico Fazenda Cedro, as linhas sísmicas denominadas *Inline* representam seções no sentido *dip* – ao longo do sentido de preferencial de deposição – da bacia, enquanto as linhas *Crossline*, imediatamente perpendiculares a estas, equivalem a seções no sentido *strike*, portanto paralelas à costa. A seleção dessas cinco linhas, três *dip* e duas *strike*, foi feita de forma que houvesse uma distribuição igualitária ao longo do dado sísmico, onde a representatividade das feições sísmicas foi priorizada. Em outras palavras, as linhas sísmicas selecionadas possuem distribuição aproximadamente uniforme e proporcional à área do volume sísmico, e apresentam padrões de reflexões mais evidentes e fiéis ao dado como um todo.

5.1 Mapeamento de Topo e Base do Membro Mucuri

O mapeamento das superfícies limítrofes do Mb. Mucuri foi feito de modo sistemático, a partir das linhas *Inline* 50 e *Crossline* 120, as quais são interceptadas pelos poços 1RBN-0003-ES e 1ATV-0002-ES, respectivamente. As litologias desses poços são dadas por amostra de calha e registradas nos seus perfis compostos, os quais contemplam as divisões das unidades litoestratigráficas da Bacia do Espírito Santo. Levando em conta que tais poços possuem testemunhos amarrados ao dado sísmico pela técnica de *checkshot*, as primeiras linhas mapeadas serviram de controle de interpretação para as outras linhas sísmicas do volume Fazenda Cedro. Por conseguinte, uma vez mapeadas as linhas *Inline* 50 e *Crossline* 120, alternadamente, uma a uma, 21 linhas *Inline* e 50 linhas *Crossline*, ao total, foram mapeadas com espalhamento uniforme inicial e cobrindo a maior área possível do cubo sísmico, até a conclusão do mapeamento por completo. A malha de mapeamento utilizada foi de 10 em 10 linhas.

Para a delimitação do intervalo de estudo do Membro Mucuri no volume sísmico 3D Fazenda Cedro foi necessário o estabelecimento prévio de parâmetros interpretativos. O arcabouço estratigráfico da Figura 10 (produzida pelo Projeto Mucuri) mostra que o Membro

Mucuri está assentado sobre a Formação Cricaré ou diretamente sobre o embasamento, e sotoposto às camadas evaporíticas do Membro Itaúnas. Visto isto, o mapeamento da base do Mb. Mucuri é dificultado, porquanto esta unidade apresenta a mesma impedância acústica que a Formação Cricaré – composta igualmente por clastos grossos – e o embasamento. Desta maneira, a presença de calhas e estruturas de meio-gráben foi considerada como referente à Formação Cricaré, a qual corresponde à Fase Rifte da Bacia do Espírito Santo. Acima destas estruturas, a base do Mb. Mucuri foi mapeada ao longo de um refletor positivo de baixa amplitude. O topo do Mb. Mucuri foi bem mais facilmente mapeado, devido à alta amplitude gerada pela base do sal. Portanto, o topo do intervalo foi traçado ao longo de um refletor positivo de alta amplitude. Adicionalmente, é importante citar que a espessura do intervalo mapeado diminui na direção oeste da área de estudo, onde topo e base chegam a coincidir na porção sudoeste do dado sísmico. O mapeamento finalizado das superfícies de topo e base está ilustrado na Figura 11.

Figura 10 - Disposição do Membro Mucuri na Bacia do Espírito Santo e arcabouço estrutural esquemático. O Mb. Mucuri está diretamente sobreposto ao embasamento ou à Fm. Cricaré, e majoritariamente sotoposto ao Mb. Itaúnas.

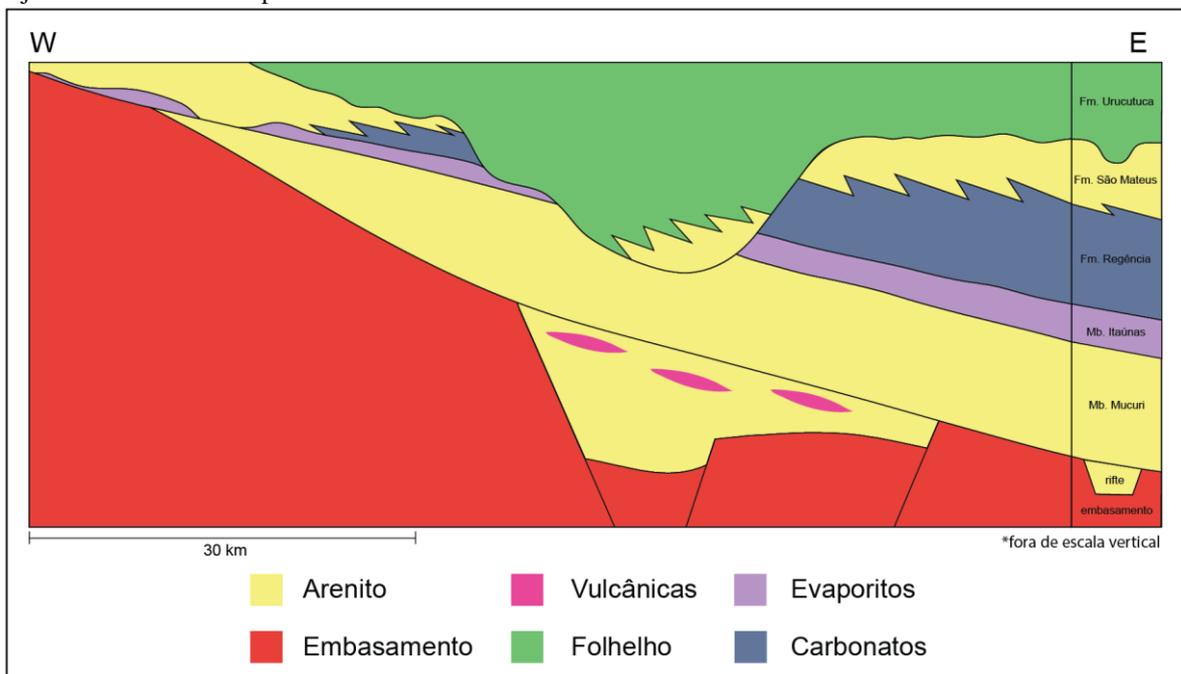
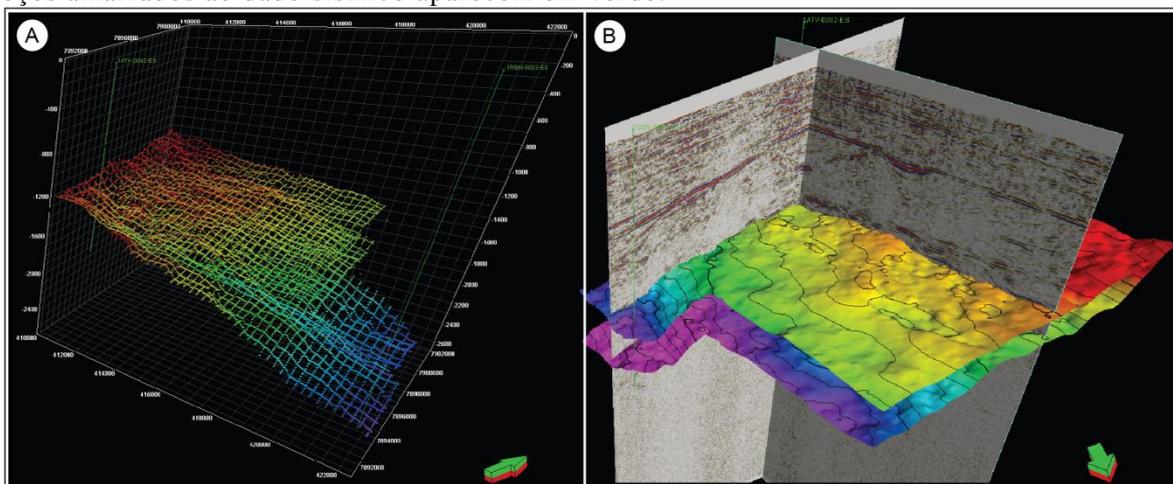


Figura 11 - (A) Visualização 3D do mapeamento completo de topo e base do Mb. Mucuri, para 50 linhas *dip* e 21 *strike*. (B) Visualização 3D das superfícies de topo e base do membro, geradas por interpolação, cortando o dado sísmico em *Normal Phase*. A seta verde indica o norte. Os poços amarrados ao dado sísmico aparecem em verde.



5.2 Interpretação Completa de Refletores – Seções *Dip*

A interpretação completa de refletores descrita e analisada na Seção 5.2 é dada apenas para as seções *dip*, localizadas ao longo da direção W-E do cubo sísmico Fazenda Cedro (Figura 1). A análise das seções *strike* aparece mais adiante nesta monografia, na Seção 5.6, onde o princípio de cruzamento entre as seções *dip* e *strike* é detalhado.

5.2.1 *Dip Inline 40*

A linha sísmica *Inline 40* está situada na porção sul da área de estudo, conforme a Figura 1. Sua sísmica não interpretada é vista na Figura 12, a partir da qual foram mapeados todos os refletores internos dentro do intervalo do Membro Mucuri (Figura 13). Nota-se predomínio de terminações do tipo *downlap* na base, com ocorrência de terminações *onlap* mais restritas às partes oeste e central da seção, associadas a dois rebaixamentos abruptos da base. No topo da seção, há terminações do tipo *toplap* nas porções oeste e centro-oeste, enquanto que a porção leste tem o topo principalmente marcado por truncamentos erosivos. Os refletores mapeados apresentam boa continuidade da porção ocidental a central da seção, todavia os refletores tornam-se descontínuos a partir do centro para leste. No extremo leste da seção, o sistema de

falhamento identificado foi, possivelmente, o causador da fragmentação e do alto grau de descontinuidade das reflexões observadas.

5.2.2 Dip Inline 110

A linha sísmica *Inline 110* está situada na porção central do dado sísmico estudado (Figura 1). A Figura 14 mostra a sísmica não interpretada desta linha, enquanto o seu mapeamento completo de refletores está ilustrado na Figura 15. A base do intervalo é delimitada por terminações do tipo *onlap* desde o extremo oeste até o centro-leste da seção. Terminações *downlap* ocorrem na base apenas no segmento oriental desta linha. A oeste, o topo é marcado por truncamentos erosivos, enquanto apresenta terminações do tipo *toplap* no centro e a leste. De maneira geral, as reflexões apresentam maior continuidade na porção mais inferior do intervalo, e menor continuidade em direção ao topo. A porção central, como um todo, possui refletores mais descontínuos.

5.2.3 Dip Inline 180

A linha sísmica *Inline 180* está situada na parte norte do volume sísmico sob análise (Figura 1). A Figura 16 mostra a sísmica não interpretada para esta linha. O mapeamento completo de refletores (Figura 17) mostra que a base da seção apresenta terminações do tipo *onlap* concentradas no extremo oeste e na parte centro-leste. Analogamente ao observado na linha *Inline 40*, estes *onlaps* aparecem associados a dois rebaixamentos abruptos. Ao longo de todo o resto da base, ocorrem poucas terminações *downlap* na base, devido ao alto grau de concordância das reflexões. No topo da seção, ocorrem truncamentos erosivos a oeste, enquanto as partes central e leste são predominantemente conformáveis. De modo geral, a continuidade dos refletores tende a ser maior na base e menor no topo, contudo há boa continuidade no centro da seção, tanto na parte superior quanto inferior. Nota-se aumento da fragmentação e da descontinuidade das reflexões próximo aos rebaixamentos abruptos da base já mencionados e à falha localizada no centro-leste da seção.

Figura 12 - Seção sísmica *dip* da linha IN40 não interpretada.

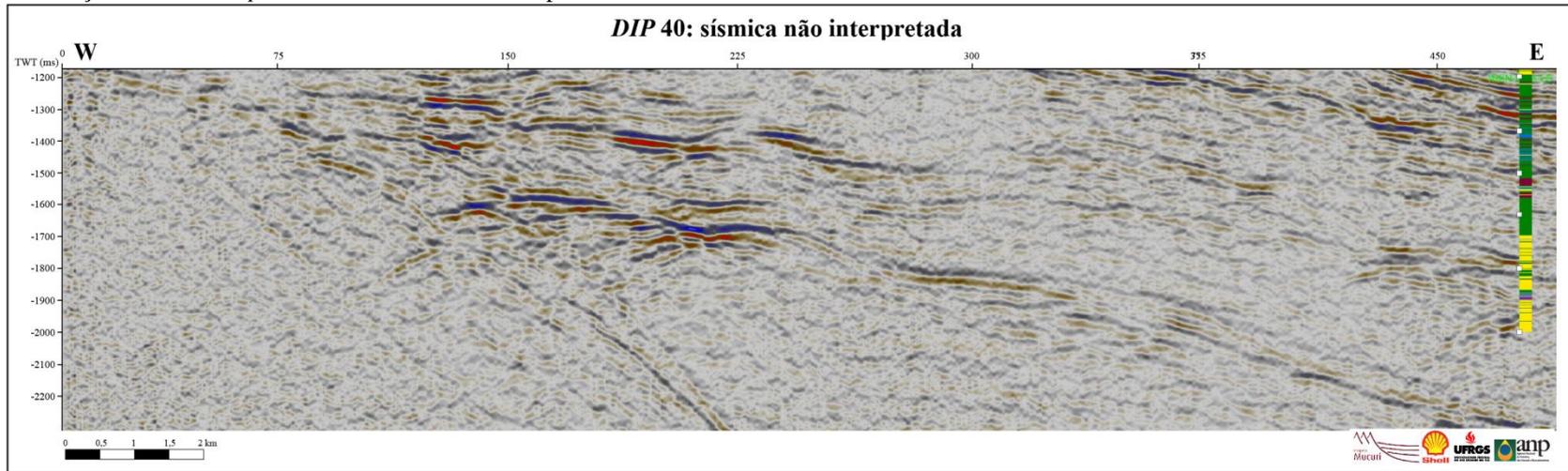


Figura 13 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção *dip* da linha IN40.

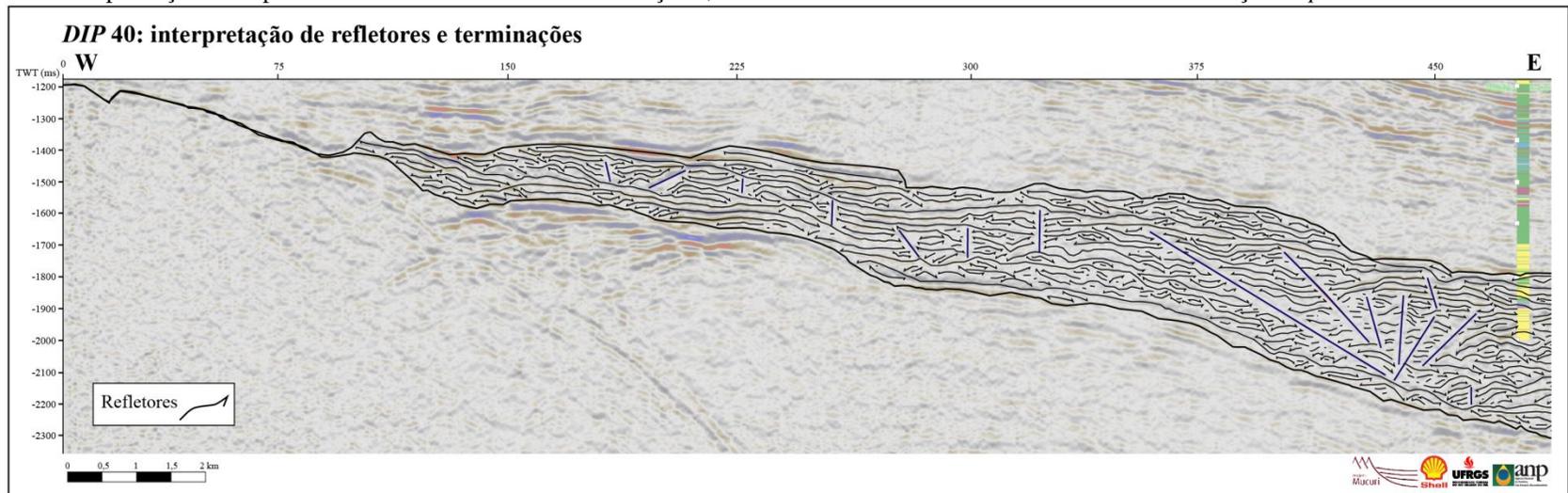


Figura 14 - Seção sísmica *dip* da linha IN110 não interpretada.

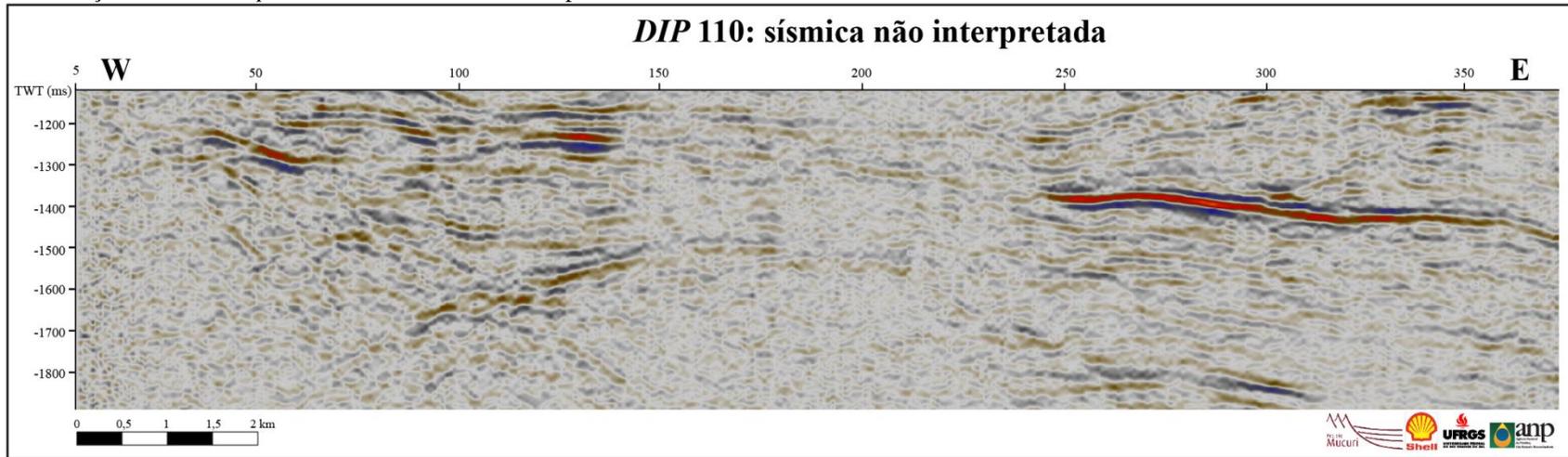


Figura 15 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção *dip* da linha IN110.

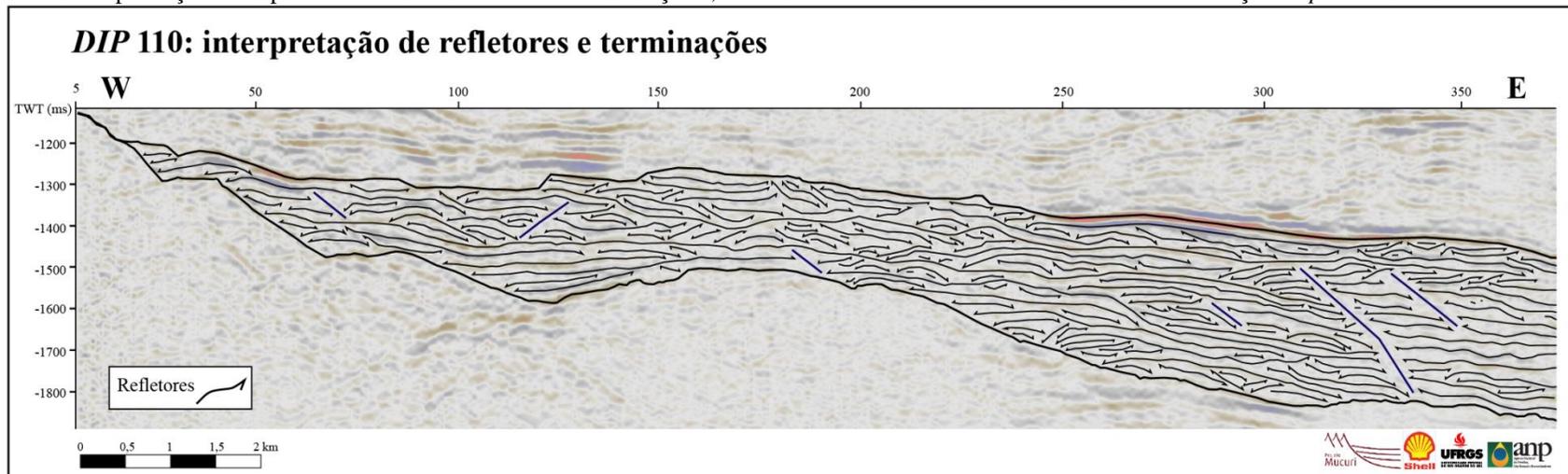


Figura 16 - Seção sísmica *dip* da linha IN180 não interpretada.

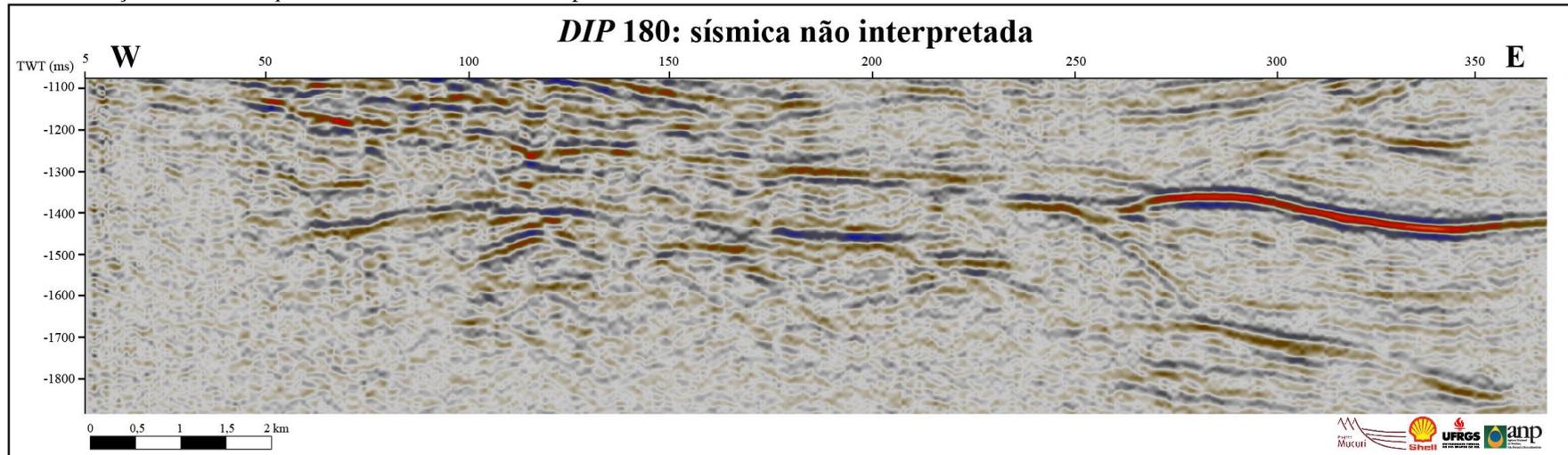
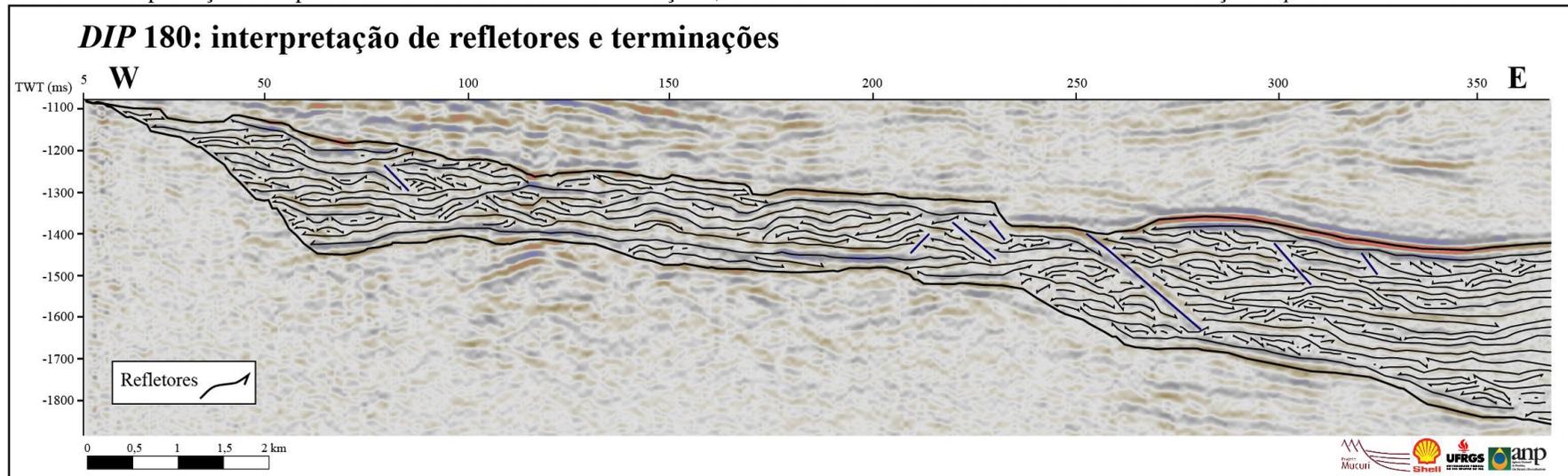


Figura 17 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção *dip* da linha IN180.



5.3 Unidades Sismoestratigráficas - Seções *Dip*

5.3.1 *Dip Inline 40*

O rastreamento das terminações de refletores da linha sísmica *Inline 40* levou à identificação de seis unidades sismoestratigráficas (US), conforme ilustrado na Figura 18. O mapeamento inicial de topo e base do intervalo de estudo (Figura 11) mostra que o Membro Mucuri é inexistente no extremo oeste da seção *Dip Inline 40*, portanto as unidades aqui detalhadas não contemplam este setor.

A US1 só ocorre nas porções central e leste desta seção, onde é limitada na base pelo embasamento e/ou pela Formação Cricaré e no topo pela US2. A superfície limítrofe superior da US1 – base da US2 – mostra terminação do tipo *onlap* no centro da seção. A US1 possui espessura pequena e constante ao longo da sua manifestação.

Bem como a US1, a US2 aparece apenas do centro para o leste da seção *dip Inline 40* e seu topo termina com *onlap* sobre o embasamento/a Fm. Cricaré. A US2 é sotoposta pela US1 e, majoritariamente, sobreposta pela US4, com topo bastante irregular que indica processo erosivo. Em direção à sua parte mais proximal, a US2 é sobreposta pela US3 em um pequeno intervalo, com topo regular. De maneira geral, a espessura da US2 tende a crescer em direção ao leste desta seção.

A US3 ocorre desde o oeste para o centro da seção, portanto somente na sua porção mais proximal, com espessura tendendo levemente a aumentar em direção à parte central. Esta unidade é limitada na base pelo embasamento e/ou pela Fm. Cricaré quase que totalmente, exceto na sua porção mais distal, onde sobrepõe a US2. Seu limite superior é dado pela US5 no oeste, e pela US4 no fim do seu aparecimento, no centro da seção. O topo da US3 apresenta terminações do tipo *onlap* sobre o embasamento/a Fm. Cricaré e *downlap* sobre a US4.

A US4 está disposta desde o centro até o leste da *Inline 40*. A espessura desta unidade é variável, uma vez que possui espessura muito reduzida no início do seu aparecimento, dobra de tamanho bruscamente no centro da seção e mantém-se aproximadamente constante até o centro-leste, e posteriormente aumenta consideravelmente até o extremo leste. Na base, a US4 é limitada pela US3 em um pequeno intervalo no centro da linha sísmica, e pela US2 no resto de sua extensão, enquanto a US5 representa seu limite superior. O topo da US4 encontra a US3 no

centro com *onlap*. No centro-leste e pontualmente no leste, observa-se irregularidade do topo da US4 e terminações do tipo truncamento erosivo, caracterizando remoção de sedimento.

A US5 é a unidade com maior extensão lateral da linha *Inline* 40, ocorrendo ao longo de toda esta seção sísmica. Apresenta espessura considerável tanto na porção oeste quanto na centro-leste, pequena espessura no centro e muito pequena no extremo leste. A base da US5 é limitada pela US3 na sua porção proximal e pela US4 na intermediária a distal. A US5 é sobreposta pela US6, onde o topo apresenta irregularidade no oeste, e, pontualmente, no extremo leste, indicando erosão.

A US6 está diretamente sobreposta à US5 e sotoposta ao Membro Itaúnas. Sua superfície limítrofe basal vai de encontro à base do sal com terminação do tipo *toplap*, em direção a oeste da seção. Esta unidade tem extensão desde o centro-oeste até o extremo leste da linha sísmica *Inline* 40, onde sua espessura começa sendo quase nula no seu início, logo cresce rapidamente e mantém-se constante até o centro da linha. No centro, a espessura cai e é mantida até o leste da linha, a partir de onde é reduzida a ponto de inexistir pontualmente, quando a base da US6 e a base do sal coincidem, e depois fica bem pequena no extremo leste. De todas as seis unidades aqui descritas, a US6 é a unidade que mais chama atenção quanto ao grau de remoção de sedimento, uma vez que, exceto pela sua porção mais proximal, o topo apresenta quedas e elevações abruptas e geometria irregular, sendo marcado por truncamentos erosivos - o que culmina na grande variabilidade de volume desta unidade ao longo do registro no dado sísmico.

5.3.2 Dip *Inline* 110

A interpretação dos refletores da linha sísmica *Inline* 110 resultaram na delimitação de seis unidades sismoestratigráficas (Figura 19). A US1 apenas aparece no centro-leste ao leste desta seção, sendo limitada na base pelo embasamento e/ou pela Fm. Cricaré, e no topo pela US2 no seu segmento proximal e pela US3 no distal. A espessura desta unidade é praticamente constante, a não ser no extremo leste, onde ela diminui drasticamente. A base da unidade termina contra a base da Fm. Mucuri com *downlap* que mergulha em direção a oeste. Seu topo é regular, contra o qual há muitas terminações *toplap*. Pontualmente, apresenta truncamento erosivo que sugere erosão no fim do seu contato com a US2.

A US2 manifesta-se desde o centro-oeste até o leste da seção, não se estendendo até o extremo leste como a US1. A US2 é limitada na base pela superfície de base do Mb. Mucuri,

enquanto seu limite superior é dado com a US3. A superfície inferior desta unidade é caracterizada extensivamente por *onlaps* tanto na porção proximal quanto na intermediária, os quais se tornam *downlaps* distalmente, enquanto a superior é delimitada por *toplaps*. A superfície superior da US2 configura terminação do tipo *onlap* na sua parte mais proximal, sobre a base do intervalo de estudo, e do tipo *downlap* sobre a US1 na sua parte mais distal. A espessura da US2 é mantida quase igual até o centro da seção, a partir de onde cresce abruptamente e volta a adelgaçar até o seu desaparecimento a leste.

A US3 aparece ao longo de toda a linha sísmica *Inline* 110, ao longo da qual apresenta espessura reduzida no centro, centro-leste e centro-oeste, média no oeste, e grande no leste. Estas variações de espessura ocorrem de forma gradual do oeste ao centro, e de forma mais abrupta na porção leste. Esta unidade é limitada na base pelo embasamento e/ou pela Fm. Cricaré a oeste desta seção, extensivamente pela US2, do oeste/centro-oeste ao leste, e pela US1 no extremo leste. A superfície inferior da US3 é delimitada por *onlaps* a oeste que se tornam *downlaps* conforme vão para a direção central da seção em análise. No centro-oeste, a existência de uma queda significativa da superfície basal no centro-leste é acompanhada por reflexões em *onlap* que seguem concordantes até a parte mais distal da seção. O topo da US3 é limitado pela US5 do oeste ao centro, e pela US4 do centro para leste. A superfície superior que limita a US3 termina em *onlap* contra a base do Mb. Mucuri, é regular e delimitada por *toplaps* ao longo de toda a seção.

O aparecimento da US4 na região central da *Inline* 110 transiciona lateralmente com a US5, onde a US4 pertence apenas à porção intermediária a distal da seção aqui detalhada. A espessura da US4 começa pequena no centro e vai aumentando levemente em direção ao extremo leste. Esta unidade é limitada na base pela US3 - contra a qual seu topo termina em *downlap* - e pela US6 no topo. A superfície inferior da US4 é marcada por sucessões de terminações do tipo *downlap*, enquanto a sua superfície superior por *toplaps*.

A US5 ocorre do extremo oeste ao centro/centro-leste da linha sísmica *Inline* 110. Diferentemente da US4, a espessura da US5 tende a decrescer no sentido da porção distal da seção interpretada: é pontualmente pequena no extremo oeste, cresce com a queda abrupta da sua base e decresce gradualmente até desaparecer contra a US4. A US5 é limitada, na base, pelo embasamento e/ou pela Fm. Cricaré no extremo oeste da linha, pela US3 do oeste ao centro, e pela US4 no centro/centro-leste. No topo, a base do sal do Mb. Itaúnas limita a porção proximal a intermediária da US5, e a US6 a porção intermediária a distal. A superfície inferior da US5 é marcada por *onlaps* no extremo oeste da seção e por sucessões de terminações do tipo *downlap*

no resto de sua extensão. Observa-se terminações do tipo toplap no contato entre a US5 e a base do sal, enquanto truncamentos erosivos marcam seu contato com a US6.

A US6 é estendida desde o centro-oeste até o extremo leste da seção *Dip Inline* 110. De maneira geral, esta unidade apresenta espessuras maiores na porção proximal de sua ocorrência, a qual cai suavemente até o centro da seção e continua constante até o seu fim. Os limites basais da US6 são dados pela US5 e pela a US4, proximal e distalmente, respectivamente, enquanto a base do sal limita seu topo. A superfície inferior da US6 é marcada por *downlaps* e a superior por *toplaps*, portanto não é identificada nenhuma relação erosiva entre o topo da US6 e a base do sal. É possível atribuir a maior espessura proximal desta unidade à erosão identificada no topo da US5, sobre a qual a US6 é sobreposta, relação a qual não é vista no contato basal da US6 com a US4.

Figura 18 - Unidades sismoestratigráficas da seção *dip* da linha IN40.

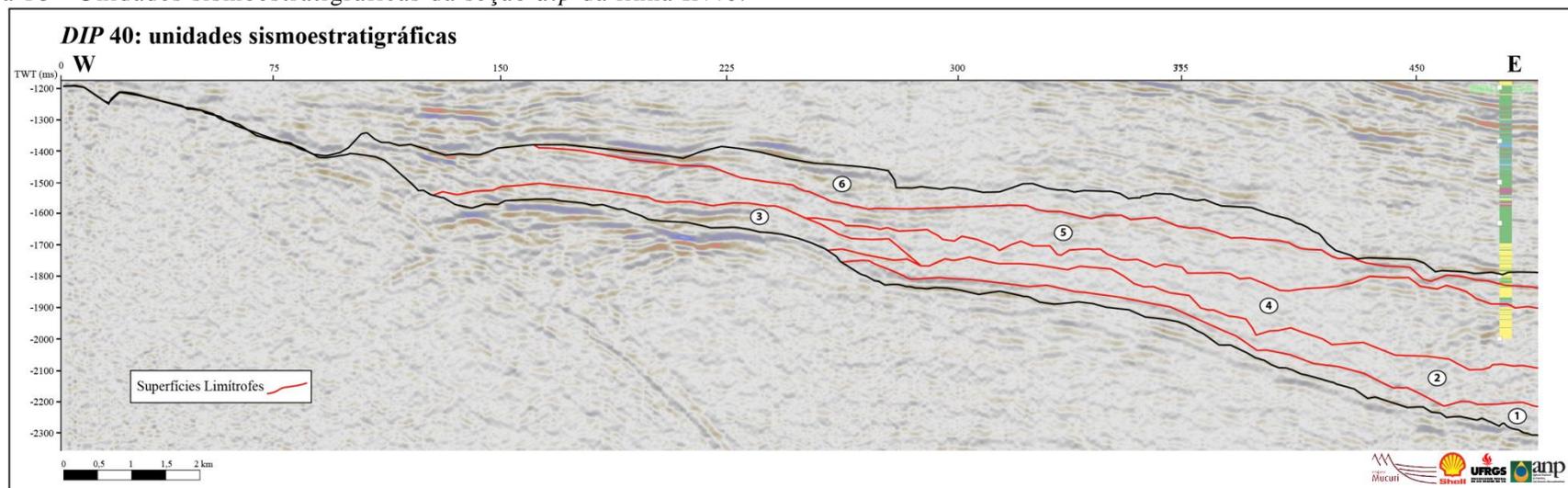
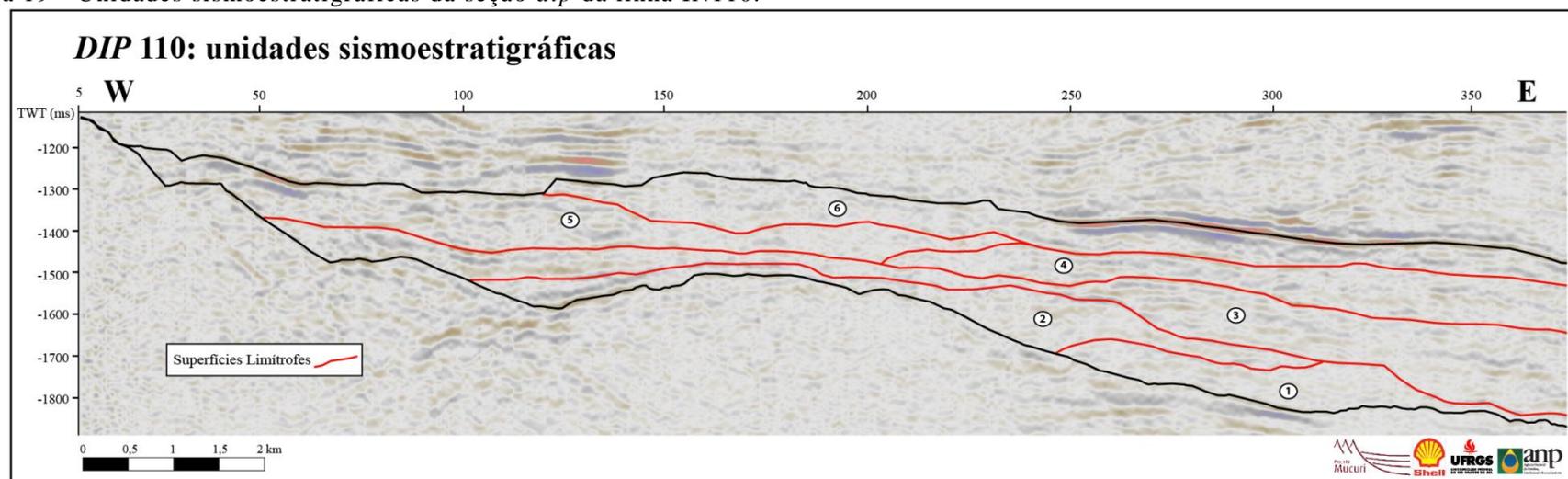


Figura 19 - Unidades sismoestratigráficas da seção *dip* da linha IN110.



5.3.3 Dip Inline 180

Foram reconhecidas sete unidades sismoestratigráficas na linha sísmica *Inline 180* (Figura 20). A US1 desta seção *dip* ocorre apenas distalmente, na desde a sua porção centro-leste até o seu extremo leste. A espessura desta unidade aumenta gradualmente no sentido de deposição. A US1 é limitada pelo embasamento e/ou pela Fm. Cricaré na base, e pela US2 no topo. A superfície inferior da US1 é marcada por um refletor com terminação *onlap* e por outros concordantes, enquanto a superior termina em *onlap* contra a base do Mb. Mucuri na porção centro-leste da seção analisada e é delimitada por *toplaps* em toda a sua extensão.

A US2 começa no centro da linha sísmica com espessura pequena que logo cresce consideravelmente no centro-leste e volta a diminuir no leste, continuando com espessura pequena e constante até o seu fim, no extremo leste da *Inline 180*. A base da US2 é limitada pelo embasamento e/ou Fm. Cricaré na sua parte proximal e pela US1 nas suas partes intermediária e distal. No topo, a US2 é limitada pela US4 muito localmente, na sua região mais proximal, pela US5 na transição da região proximal-intermediária, e pela US3 desde a região intermediária até a mais distal. Na US2, sucessões de terminações do tipo *downlap* marcam seu limite inferior e *toplap* o superior. Observa-se pontualmente uma erosão da US2 próxima ao contato inicial com da US2 com a US3 e do falhamento que corta as unidades sismoestratigráficas US2 e US5.

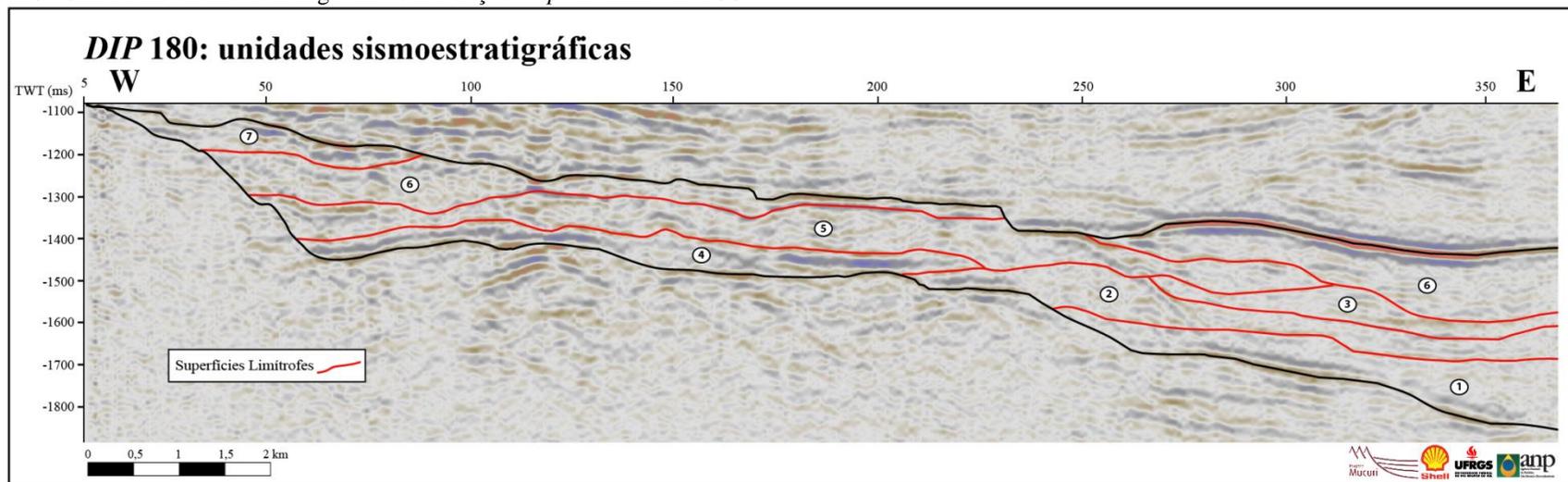
A US3 é uma unidade pequena e restrita somente à porção distal da seção *Dip Inline 180*. Sua espessura varia pouco, sendo um pouco maior na parte central da unidade. A US3 é limitada na base pela US2. No topo, a US5 limita a US3 na sua metade proximal, enquanto a US6 na distal. A superfície limítrofe inferior da US3 termina em *toplap* contra a US5 e é marcada por um refletor com terminação *onlap* na sua porção proximal e *downlap* na intermediária a distal. *Toplaps* sucessivos marcam a superfície superior da US3.

A US4 é a primeira unidade sismoestratigráfica que preenche a porção proximal da seção interpretada, a qual varre de oeste até o centro/centro-leste. Esta unidade tem espessura média praticamente constante com um mínimo aumento no seu centro. A base da US4 é, em grande parte, limitada pela base do Mb. Mucuri - exceto na sua região mais distal, onde faz contato com a US2. O topo da US4 é limitado pela US5 e termina em *onlap* contra a base do Membro Mucuri. A superfície basal é marcada por *onlaps* proximais e *downlaps* distais, enquanto a de topo por duas terminações *toplap*.

A US5 cruza a seção *Dip Inline* 180 de oeste a leste, estando apenas ausente nos seus extremos. A espessura desta unidade varia pouco, sendo menor nas suas partes proximal e distal e maior na intermediária. A US5 apresenta quatro limites basais: (1) embasamento e/ou Fm. Cricaré pontualmente na sua porção mais proximal; (2) US4 de forma majoritária, do oeste ao centro leste da seção sísmica em análise; (3) US2 na sua porção intermediária-distal a distal; e (4) US3 na sua porção mais distal. No limite basal com a base do Mb. Mucuri, a US5 é marcada por *onlaps*, e depois, contra os limites com as outras três unidades, por uma extensa sucessão de *downlaps* ao longo desta unidade. A US6 limita a US5 ao longo de todo o seu topo, o qual termina em *onlap* contra a base do intervalo de estudo e é marcada por muitas terminações do tipo *toplap*. Em uma zona de menor espessura na região proximal da US5, truncamentos erosivos indicam erosão considerável local do seu topo, bem como o que ocorre na sua região proximal pontual e menos intensamente.

A ocorrência da US6 nesta seção *dip* analisada difere das outras unidades sismoestratigráficas por ser segmentada em duas, devido uma forte erosão que removeu todo o seu topo na porção centro-leste desta linha sísmica. Desta forma, aqui serão descritas separadamente para facilitar a caracterização da unidade como um todo: US6 proximal e US6 distal. A US6 proximal possui espessura considerável no oeste da seção, a qual diminui para a metade no centro-oeste e mantém-se constante até o seu desaparecimento, no centro-leste. A US6 proximal é limitada na base pelo embasamento e/ou pela Fm. Cricaré, bem no início de seu aparecimento no extremo oeste, onde há terminações do tipo *onlap*, e pela US5 no resto da sua extensão, contra a qual existem *downlaps*. O topo da US6 proximal termina em *onlap* contra a base do Mb. Mucuri, sendo limitado pela US7 no oeste da seção e pela base do Mb. Itaúnas do centro-oeste até o centro-leste. O limite superior da US6 proximal é marcado por *toplaps* no contato com a US7 e com a base do sal, exceto em um intervalo da região centro-oeste da seção, onde há presença de truncamentos erosivos acompanhada de uma notável diminuição de espessura comentada acima. A US6 distal ocorre desde o centro-oeste da seção *Dip Inline* 180, onde a espessura é mínima, ao seu extremo oeste, com espessura máxima. A variação da espessura da US6 distal é gradual. A base da US6 distal termina em *toplap* contra a base do Mb. Itaúnas e é limitada pela US5, no sentido de deposição, desde o seu início até o seu meio e pela US3, do meio para o fim. No topo, o limite da US6 distal é dado pela base do sal e é marcado por *toplaps*. A superfície inferior da US6 distal apresenta terminações do tipo *downlap*, no seu início, e *onlap*, conforme há um pequeno rebaixamento da sua base e aumento de sua espessura.

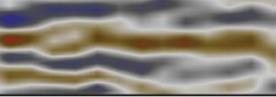
A US7 aparece no extremo oeste da seção aqui detalhada, sendo, portanto, pequena e restrita. Possui espessura quase constante e não muito significativa. Esta unidade é limitada na base pela base do Mb. Mucuri na sua parte mais proximal, contra a qual há terminações de *onlap*, e pela US6 com *downlaps* no resto de sua extensão. O topo da US7 termina em *onlap* contra a base do Mb. Mucuri e é delimitado por sucessivos truncamentos erosivos contra o sobrejacente Mb. Itaúnas.

Figura 20: Unidades sismoestratigráficas da seção *dip* da linha IN180.

5.4 Sismofácies - Seções *Dip*

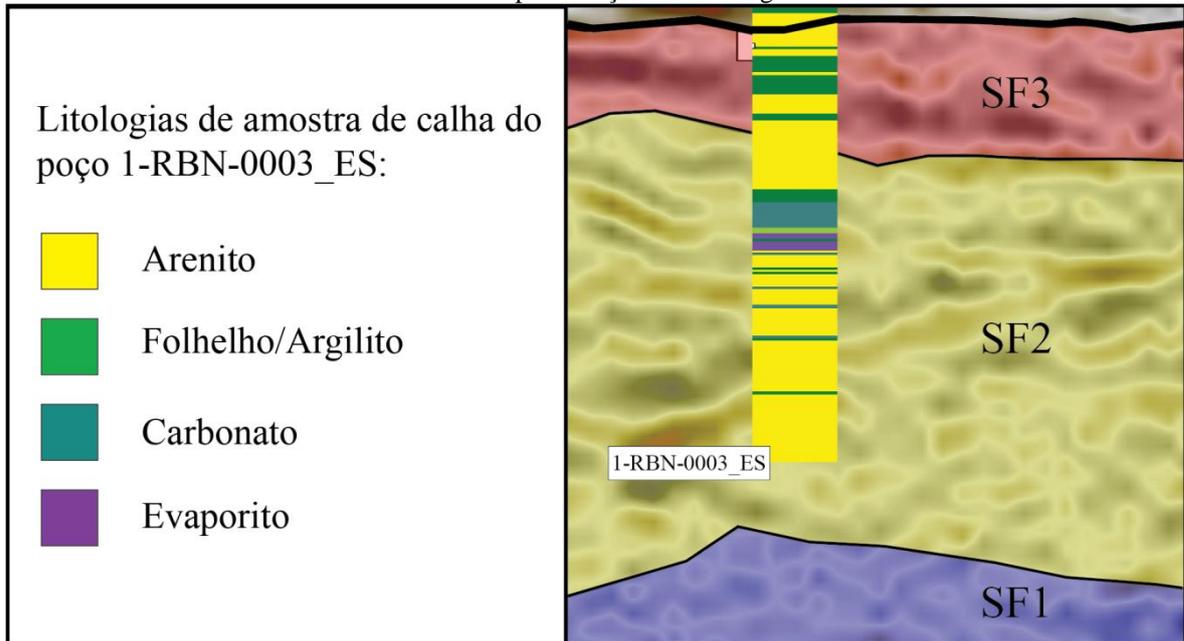
Ao longo das cinco linhas sísmicas analisadas neste trabalho, foram reconhecidas três sismofácies distintas. O Quadro 4 mostra os conjuntos de parâmetros físicos identificados para cada sismofácies. A sismofácies de cor azul (SF1) apresenta reflexões de baixa amplitude e descontínuas, com padrão caótico e rugoso. A sismofácies de cor amarela (SF2) contempla refletores semicontínuos de média amplitude e aspecto ondulado. A sismofácies de cor vermelha (SF3) possui refletores contínuos de média a alta amplitude, também com aspecto ondulado. Em nenhuma das sismofácies (SF1, SF2 e SF3) foi possível definir geometria nem frequência particulares.

Quadro 4 - Assinaturas sísmicas das sismofácies SF1 (azul), SF2 (amarela) e SF3 (vermelha), seus parâmetros físicos, litologias das amostras de calha amarradas ao dado sísmico e interpretações de sistemas deposicionais.

Sismofácies	Características	Aspecto Representativo	Litologia em testemunho amarrado ao dado (1-RBN-0003_ES)	Interpretação de Sistema Depositional
SF1	Refletores descontínuos de baixa amplitude e aspecto rugoso.		Não perfurado.	Sistema fluvial dominado por canal.
SF2	Refletores semicontínuos de média amplitude e aspecto ondulado.		Predominância de arenitos, intercalados com folhelhos, carbonatos e evaporitos.	Sistema costeiro de deltas dominados por ondas.
SF3	Refletores contínuos de média a alta amplitude e aspecto ondulado.		Predominância de folhelhos, intercalados com arenitos.	Sistema fluvial dominado por planície.

Visto que as sismofácies equivalem aos sistemas deposicionais observados no dado sísmico, faz-se necessária a interpretação das características intrínsecas a cada sismofácies. Ambas as sismofácies SF2 e SF3 possuem litologia amarrada ao poço 1RBN-0003-ES na Linha Sísmica *Inline* 40 (Figura 21), sendo a SF2 composta principalmente por arenitos intercalados com folhelhos e a SF3 predominantemente formada por folhelhos intercalados por arenitos. Em contrapartida, a SF1 não possui registro litológico na amostra de calha do perfil composto deste poço.

Figura 21 - Amostragem litológica de calha do poço 1RBN-0003-ES interceptando as sismofácies SF2 e SF3 da linha sísmica *Inline* 40. A perfuração não atinge a SF1.



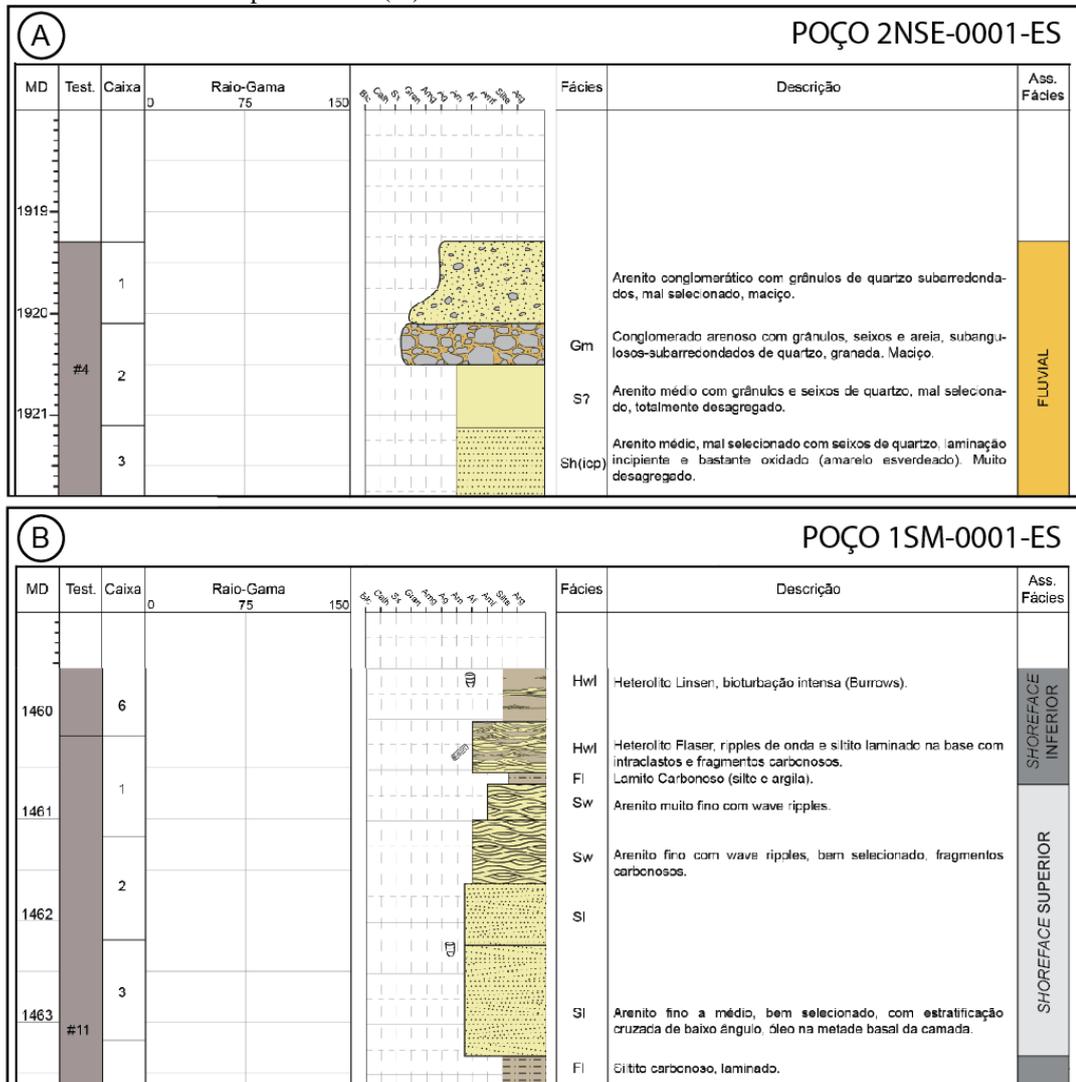
Dados de testemunhos descritos no Projeto Mucuri - fora da área do presente estudo (Figura 22) mostram que há dois tipos de sistemas deposicionais dominantes: sistema fluvial e sistema costeiro deltaico dominado por ondas. Baseando-se nestas ocorrências, as sismofácies do presente trabalho foram interpretadas dentro destas possibilidades, assim admitindo uma correlação indireta e a eventual existência de outros sistemas deposicionais não observados em testemunhos.

Desta forma, integrando dados de amostra de calha à sísmica, a SF1 é interpretada como um possível sistema fluvial (Figura 21), com dominância de arenitos sobre folhelhos. Esta relação indica um sistema fluvial com dominância de canal, também devido ao seu conjunto de reflexões caóticas e de baixa amplitude serem resultado da migração de canais, o que confere um aspecto rugoso e inconstante a ela. Já a SF2 abrange sistemas costeiros de deltas dominados por ondas, dado o padrão de sucessões de frentes deltaicas que geram no dado sísmico reflexões semicontínuas, onduladas e de baixa amplitude - sendo esta interpretação embasada no alto teor de sedimento arenoso visto em amostra de calha. Por fim, interpreta-se a SF3 como um sistema fluvial dominado por planície, dado que a continuidade das suas reflexões representa o assentamento deposicional do sedimento fino típico de planície, também reforçado pela litologia já descrita no perfil composto do poço que a intercepta.

O comportamento das três sismofácies identificadas nas seções de sentido dip serão detalhados abaixo. Todavia, é importante mencionar que a Seção *Dip Inline* 40 abrange uma maior área do volume sísmico Fazenda Cedro que as das linhas *inline* 110 e 180. Logo, o que

é visto na porção distal da Linha *Inline* 40, a partir do cruzamento com a *Crossline* 370 em direção a leste, não possui dado sísmico correlacionável nas outras duas seções.

Figura 22 - Perfis litológicos de testemunhos descritos no Projeto Mucuri (UFRGS), em poços adjacentes ao cubo sísmico Fazenda Cedro, mostrando uma sucessão de fácies de sistemas fluvial (A) e costeiro dominado por ondas (B).



5.4.1 Dip Inline 40

Na Figura 23, a SF1 aparece na Seção *Dip* 40 a partir do seu centro e torna-se predominante e bastante espessa em direção a leste, portanto não ocorre a oeste. Na base desta seção, a leste, a SF1 se estende lateralmente a SF3 e ocorre interdigitada a SF2. Ainda, a SF1 é

envolvida pela SF2 no centro-leste da seção. Tanto nas porções intermediária e distal em que ocorre, a SF1 está restrita ao meio a base da seção, não aparecendo no seu topo.

A SF2, exceto em um pequeno intervalo central, tem ocorrência ao longo de toda seção, mostrando tendência a estar paralela à SF3. A oeste da seção, a SF2 aparece na base e no meio da seção, enquanto que a partir do porção central até a oriental, não ocorre mais na base, apenas no meio e no topo da seção.

A SF3 é a sismofácies com maior continuidade ao longo da Linha *Inline* 40, tendendo a definir corpos bastante alongados. Esta simofácies é encontrada na base e no topo de toda a seção, a não ser no leste, onde está limitada somente ao topo.

5.4.2 Dip Inline 110

Como pode ser visto na Figura 24, a SF1 está bem distribuída ao longo da Seção *Dip Inline* 110, onde está definida em corpos menores e esparsos na porção proximal (oeste), tem dominância na porção intermediária (centro), exibindo grande espessura e maior conectividade, e aparece na porção distal de forma expressiva, envolvendo a SF2. Ainda, é notável que esta sismofácies acompanha duas declividades abruptas ao longo da linha - uma a oeste e outra no centro-leste – e que aparenta ser inversamente proporcional a SF3, uma vez que tende a estar ausente quando há dominância da SF3 e mais associada a SF2.

A SF2 ocorre discretamente em dois pequenos corpos na porção proximal da seção e gradualmente torna-se mais abundante no sentido de deposição, apresentando maior espessura na porção mais distal. A SF2 aparece como corpos alongados no sentido W-E e englobados pelas sismofácies SF1 e SF3, posicionados mais para o topo e para o meio do intervalo analisado, atingindo também a base distalmente.

A SF3 aparece com maior espessura que as outras sismofácies, embora esteja concentrada nas porções proximal e distal, logo praticamente nula em toda a porção intermediária da seção. A oeste, a SF3 envolve corpos da SF2 e da SF1, enquanto que apenas da SF1 a centro-leste. Na porção distal da seção, SF3 e SF1 estão interdigitadas entre si.

5.4.3 Dip Inline 180

Conforme a Figura 25, a SF1 ocorre na porção proximal da Linha *Inline* 180 como um grande corpo do meio para o topo do intervalo interpretado, envolvendo a SF2. No centro da seção, esta sismofácies é menos expressiva, voltando a aparecer na porção centro-leste como um corpo grande e espesso que chega pontualmente a ocupar desde a base até o topo do intervalo, e mais distalmente ocorre como corpos alongados menores e envolvidos pela sismofácies SF2, próximos ao topo.

A SF2 começa como corpos alongados, e pouco espessos no sentido da deposição, os quais são esparsos desde o oeste até o centro-leste da seção. A leste, esta sismofácies é a mais abundante, estando na forma de um grande corpo alongado e espesso que engloba as sismofácies SF1 e SF3.

Nesta seção sísmica, a sismofácies SF3 está presente desde o extremo oeste como um único corpo comprido e de espessura pequena no topo do intervalo. Esta sismofácies toma maiores proporções no centro como um corpo maior, onde é dominante, alongada, e espessa, em seguida tornando-se ausente no centro-leste da linha. Na porção mais distal da seção, a SF3 aparece novamente como corpos isolados alongados de pouca espessura, sendo estes de maior extensão, paralelos desde a base até o topo e englobados pela SF2.

Figura 23 - Distribuição das sismofácies na seção *dip* da linha IN40.

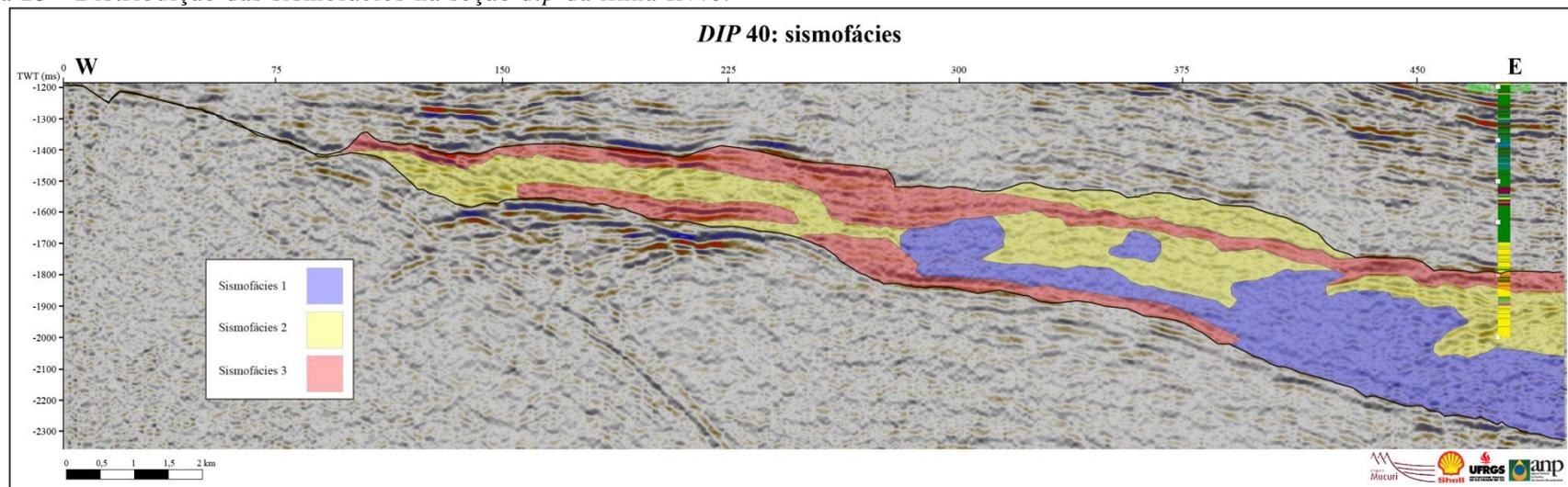


Figura 24 - Distribuição das sismofácies na seção *dip* da linha IN110.

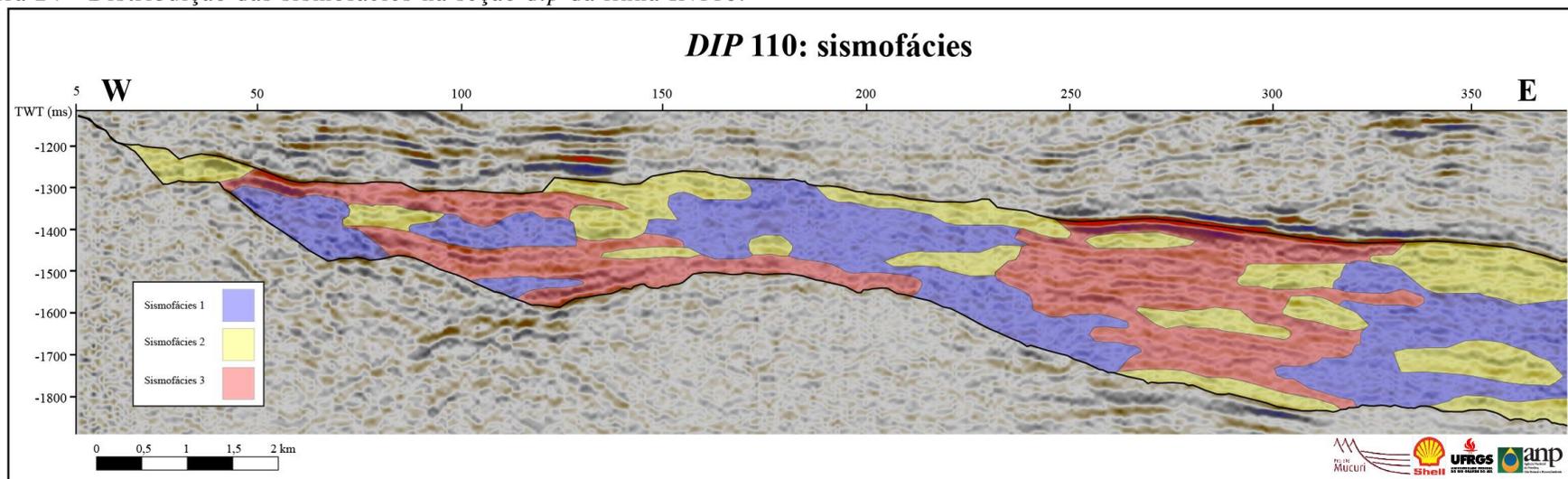
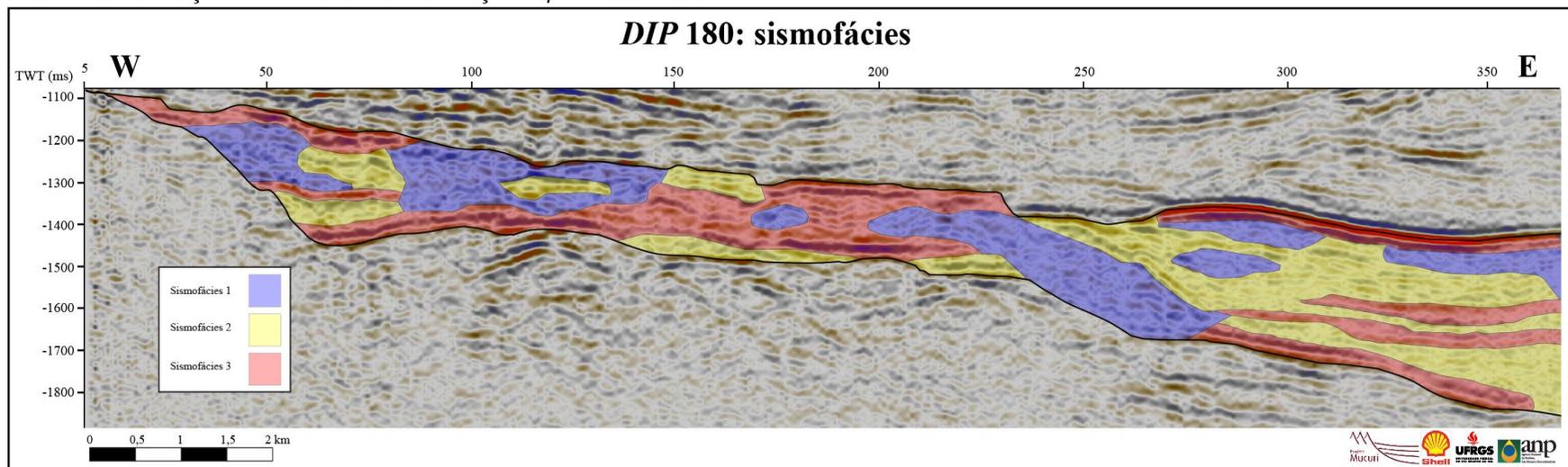


Figura 25 - Distribuição das sismofácies na seção *dip* da linha IN180.

5.5 Diagramas Cronoestratigráficos - Seções *Dip*

A etapa da análise sismoestratigráfica de elaboração de diagramas cronoestratigráficos foi realizada apenas para as três linhas *dip* escolhidas, uma vez que elas são cortes paralelos ao sentido de deposição das unidades sismoestratigráficas. As seções *strike*, por outro lado, não foram usadas nessa etapa, visto que - por serem paralelas à costa - não mostram uma sucessão representativa dos sistemas deposicionais.

5.5.1 *Dip Inline 40*

No diagrama cronoestratigráfico ilustrado na Figura 26, a linha sísmica *dip Inline 40* apresenta um característico padrão deposicional repetido duas vezes. Na base, ocorre um evento de *onlap* com migração do sistema deposicional de leste para oeste, compreendendo as unidades US1, US2 e US3. Este mesmo padrão ocorre novamente da unidade US4 a US6, reiniciando com a deposição mais localizada a leste, a qual é posteriormente expandida para oeste. A inexistência de deposição distal (para leste) na US3 e a limitação deposicional da US4 a leste sugerem a ocorrência de um evento erosivo, o qual removeu parcialmente a porção distal da US3 e delimitou a deposição inicial da US4. Outras erosões mais evidentes são observadas principalmente no topo da unidade US5, a oeste, e em praticamente todo o topo da US6. A remoção da parte superior desta última unidade foi possivelmente causada por remobilização halocinética da unidade evaporítica sobrejacente (Mb. Itaúnas).

A distribuição interna de sismofácies nas unidades sismoestratigráficas identificadas no presente trabalho mostra uma concentração da SF1 e da SF3 na seção basal (unidades US1 e US2), o que indica uma dominância de sistemas fluviais. A partir da US3, começam a aparecer ocorrências localizadas da SF2, com o aumento de sua ocorrência em direção ao topo, predominantemente nas unidades US4 e US5. Uma vez que a SF2 é associada a sistemas costeiros (deltas e margens lacustres). A análise individual do comportamento de cada sismofácies no diagrama cronoestratigráfico não é possível - devido à limitação da resolução sísmica, e às diversas escalas de variação do nível de base que impedem uma análise de detalhe.

De maneira integrada, a interpretação geral e cronograma cronoestratigráfico (Figura 26) mostram que: (1) as unidades US1, US2 e US3 da linha IN40 avançam em direção ao continente

e são marcadas por *onlaps* contra a base do Mb. Mucuri, com padrão retrogradacional (retro); (2) a US4 desloca no sentido distal e acaba em *onlap* na US3, com padrão progradacional (pro); (3) a U5 representa uma inundação, com *onlap* na base do Mb. Mucuri, definindo padrão retrogradacional; e (4) a US6 avança no sentido distal em *onlap* contra a US5, sendo progradacional.

5.5.2 Dip Inline 110

Analogamente à Linha *Inline* 40, o diagrama cronoestratigráfico construído para a linha sísmica *dip Inline* 110 (Figura 27) também possui dois ciclos deposicionais repetidos, contudo com um ciclo incompleto no topo. A partir da base do diagrama – desde a US1 até a US3 - o depocentro movimenta-se de leste para oeste, configurando *onlaps* em direção à porção mais proximal. O outro ciclo é representado pelas unidades US4 e US5, onde a deposição inicial é restrita à parte mais ao leste do diagrama, na US4, e depois migra para oeste na US5. Diferentemente da Linha *Inline* 40, a US1 da *Inline* 110 tem deposição limitada a leste, onde a US2 é ausente - indicando que houve a remoção de parte da US1 restringiu a deposição da US2 proximalmente - enquanto que a US3 aparece cobrindo a seção de leste a oeste. A mesma relação de migração do sistema deposicional por erosão ocorre entre as unidades US4 e US5. No topo da US5, observa-se erosão pouco significativa na região central da linha sísmica analisada. A US6 mostra nova migração do preenchimento da seção na direção leste, o qual reaparece na porção mais distal da Linha *Inline* 110.

A análise da ocorrência das sismofácies nas seis unidades da linha sísmica *Inline* 110 permite observar maior concentração da SF2 na US1, a qual desaparece na US2. A partir da US3, a SF2 tende a ocorrer em maiores proporções em direção a US6, começando discretamente na US3 e passando a ter um padrão geral de melhor distribuição e maior relevância nas unidades que sucedem.

Analogamente a linha IN40, a linha IN110 apresenta padrão de empilhamento retro-pro-retro-pro: a deposição das unidades US1, US2 e US3 migra em direção ao continente, com *onlaps* na base do membro (retrogradacional); a US4 acaba em *onlap* contra a US3, deslocando no sentido distal (progradacional); a US5 apresenta *onlap* na base do Mb. Mucuri e migra para o continente (retrogradacional); e a US6 acaba em *onlap* na US5, deslocando no sentido distal (progradacional).

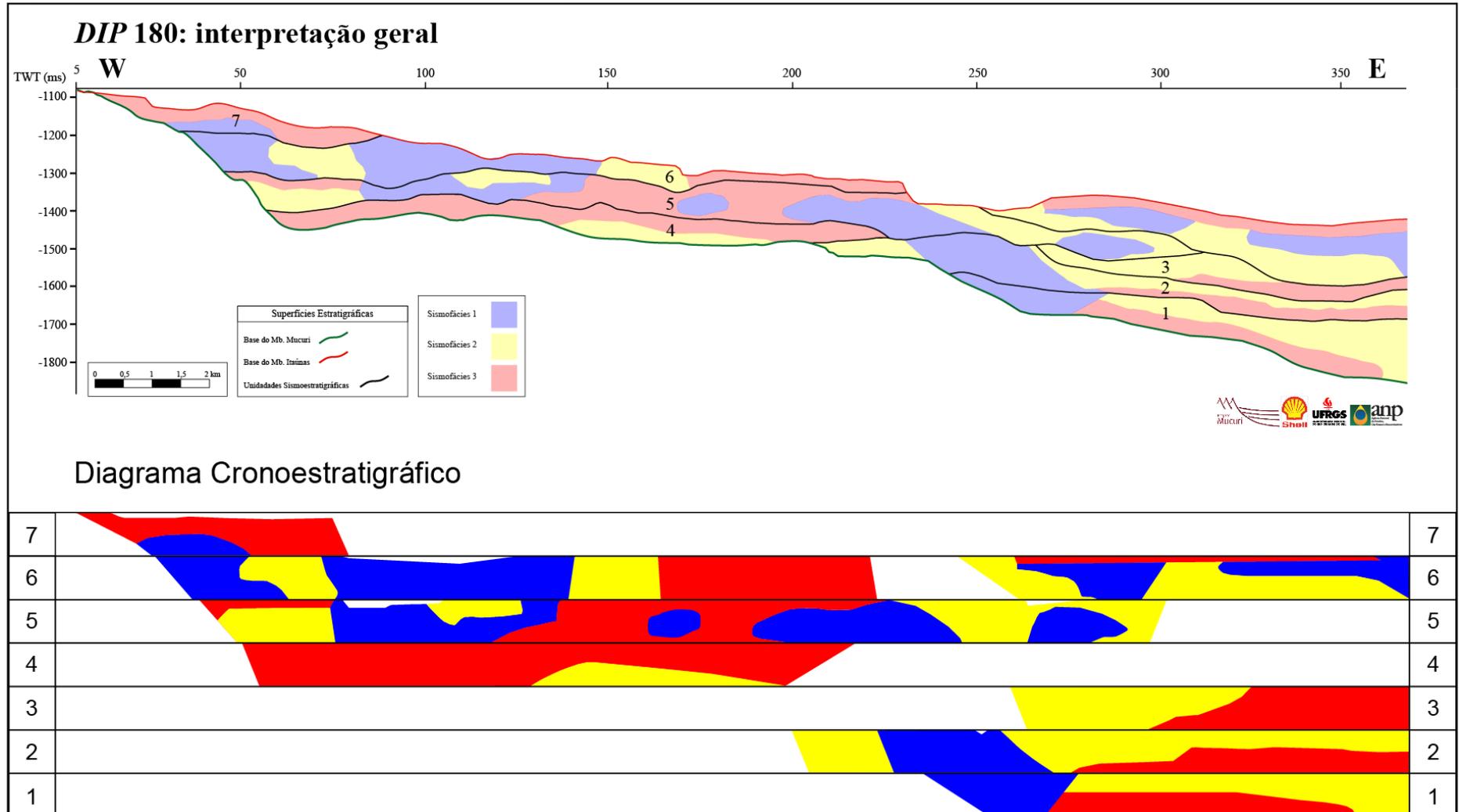
5.5.3 Dip Inline 180

A Figura 28 mostra dois eventos caracterizados por *onlaps* bem marcados, onde há uma tendência de migração da deposição para oeste da seção em análise. Estes eventos compreendem: (1) US1 e US2; e (2) US4, US5, US6 e US7. Analisando o diagrama cronoestratigráfico da Seção *Dip Inline* 180 de baixo para cima, a US1 está presente mais restritamente a leste, enquanto que a US2 tem preenchimento levemente expandido para oeste. A US3 apresenta menor área de deposição que a US1, limitando-se mais ao leste. A partir da unidade US4 até a US6, a deposição espalha-se gradativamente tanto para leste quanto para oeste, alcançando quase que preenchimento completo da seção na US6. Por fim, a US7 dá continuação à migração da deposição no sentido oeste, onde é abruptamente restrita à porção mais proximal da linha, sendo, portanto, ausente no centro-oeste, centro e leste da seção. A restrição da US3 a leste, comparativamente à US2, indica que a parte mais proximal da US3 (centro-leste da seção) foi erodida. Ainda, tendo em vista a ausência de deposição intermediária a distal da US4, considera-se que houve um evento erosivo intenso de remoção desta unidade. Outra unidade fortemente erodida foi a US6, no centro-leste da seção analisada, onde é possível verificar um escavamento do topo do intervalo mapeado (Figura 20). Erosões menores podem ser observadas nos topos das unidades US5 e US6, no oeste da Linha *Inline* 180.

A disposição das três sismofácies no diagrama da Linha *Inline* 180 conta com a presença da SF2 em todas as unidades sismoestratigráficas reconhecidas ao longo desta seção sísmica, exceto pela US7. É possível notar que, desde a US1 até a US3, há um aumento gradual da proporção de sistemas costeiros (SF2) em relação aos fluviais (SF1 e SF3). Embora haja ocorrência da SF2 na US4, esta sismofácies aparece em proporção bem menor do que na US3. Observa-se uma variação na proporção da SF2 da US4 a US6, passando de localizada a bem distribuída em direção às unidades mais jovens. Finalmente, a US7 compreende somente canais e planícies relativos às sismofácies SF1 e SF3.

A linha IN180 apresenta um empilhamento retrogradante das unidades US1, US2, com *onlaps* na base do intervalo, progradante da US3, que avança no sentido de deposição com *onlap* na US2, e retrogradante das unidades US4, US5, US6 e US7, que migram para o continente com terminações do tipo *onlap* contra a base do Mb. Mucuri.

Figura 28 - Diagrama cronoestratigráfico (embaixo) da seção *dip* da linha IN180, feito a partir da interpretação geral (em cima), que mostra a disposição das sismofácies em cada unidade sismoestratigráfica.



5.6 Cruzamento de Seções *Dip* e *Strike*

No presente trabalho, as interpretações de três seções sísmicas *dip* – mostradas nas seções anteriores - são cruzadas com as de duas *strike*, objetivando analisar o controle geográfico de cada unidade sismoestratigráfica, bem como a distribuição de suas sismofácies. Este mecanismo permite ampla conexão das unidades sismoestratigráficas ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro.

A análise dos elementos sismoestratigráficos das linhas sísmicas *crossline* 150 e 350 do volume Fazenda Cedro - seções *strike* selecionadas neste trabalho – leva a uma integração da evolução deposicional da área de estudo, tanto proximal quanto distalmente. Desta maneira, as linhas CS150 e CS350 funcionam como linhas de controle e convergência analítica da interpretação das linhas *inline*, levando à definição de um padrão evolutivo do arcabouço estratigráfico do Membro Mucuri no dado sísmico investigado.

5.6.1 *Strike Crossline 150*

A linha sísmica *Crossline* 150 está localizada na porção mais proximal do volume Fazenda Cedro, mais para o oeste (Figura 1). A Figura 29 mostra a sísmica não interpretada dessa linha, a partir da qual se dá a interpretação dos seus refletores (Figura 30). Terminações do tipo *downlap* predominam na base do intervalo interpretado, enquanto o topo é marcado por truncamentos erosivos mais a norte, e *toplaps* na direção sul. Em geral, os refletores têm baixa continuidade, a qual aumenta no sul e na parte superior central da seção.

Foram identificadas seis unidades sismoestratigráficas na Seção *Strike* 150 (Figura 31): US2, US3, US4, US5, US6 e US7. As unidades US2 e US3 ocorrem na porção mais inferior do intervalo, onde começam em *onlap* no centro-norte da seção, e terminam em *downlap*, em direção a sul. A US2 tem espessura pouco expressiva e é mais limitada ao centro, enquanto a US3 tem espessura um pouco maior e cobre a parte bem ao sul da seção. A US4 possui pouca espessura e é localizada ao norte, chegando até o centro da seção, onde acaba em *onlap* sobre a US3. A US5 é a unidade com maior extensão da Seção *Strike* 150, contendo espessura considerável, exceto no seu centro-norte, onde é erodida pela entrada da US6. A US6 cobre grande parte do centro da seção analisada, sendo mais espessa no centro e adelgada a partir

dele em direção às extremidades. A US6 termina em *toplap* no topo do intervalo, tanto mais a norte quanto mais a sul. A US7 é uma unidade bem pequena limitada à parte superior do intervalo no extremo norte da seção, a qual termina em *toplap* contra o topo.

A Figura 32 mostra a SF1 é a sismofácies menos abundante da Seção *Strike* 150, sendo limitada à sua parte norte, aparecendo como corpos isolados alongados de menores e maiores extensão e espessura, envolvidos pela SF3 e intercalados com a SF2. A SF2 é muito abundante na seção analisada, ocorrendo: no norte, como corpos alongados isolados, nas partes inferior e superior; no centro como dominante e englobando as SF3; e no sul, na mesma proporção que a SF3, mas envolvida por ela. A SF3 é tão abundante quanto a SF2 e é a única sismofácies que aparece ao longo de toda a seção, de norte a sul, sendo mais predominante a norte e menos no centro.

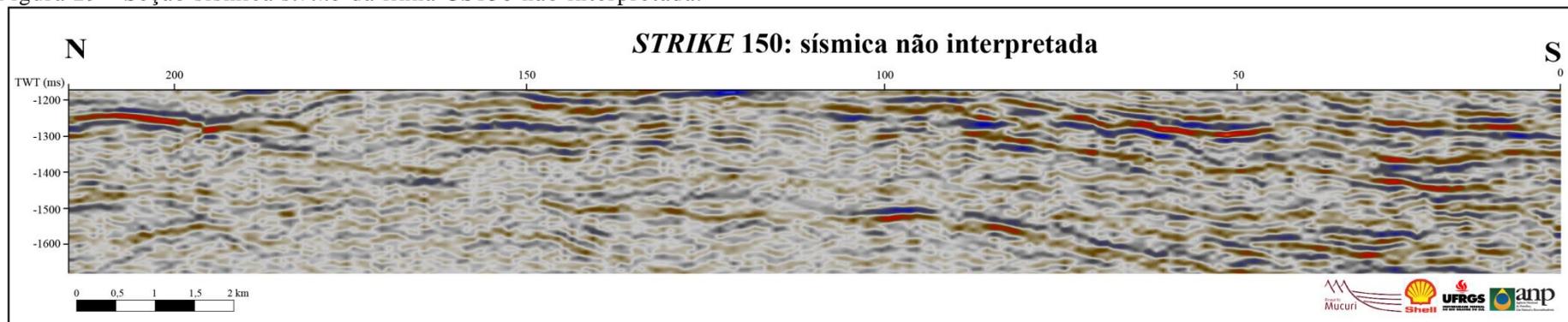
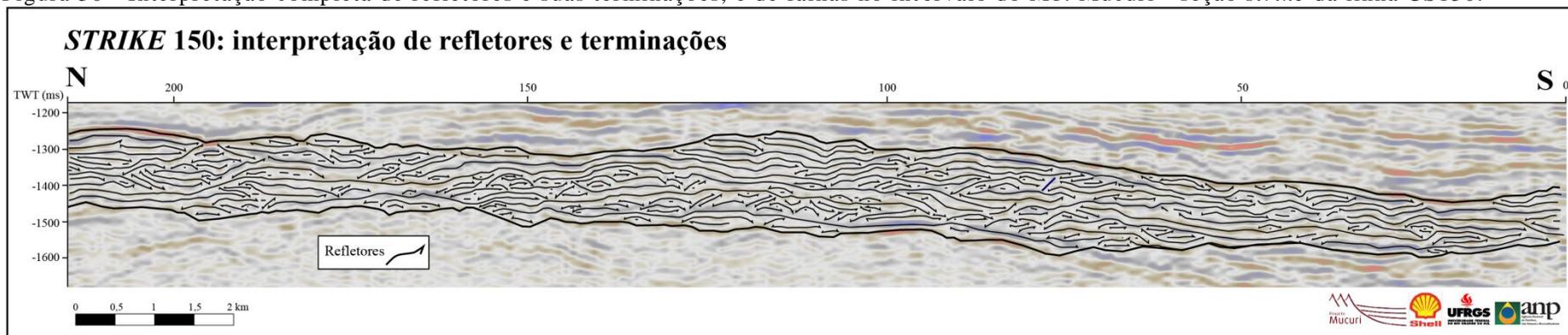
Figura 29 - Seção sísmica *strike* da linha CS150 não interpretada.Figura 30 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção *strike* da linha CS150.

Figura 31 - Unidades sismoestratigráficas da seção *strike* da linha CS150.

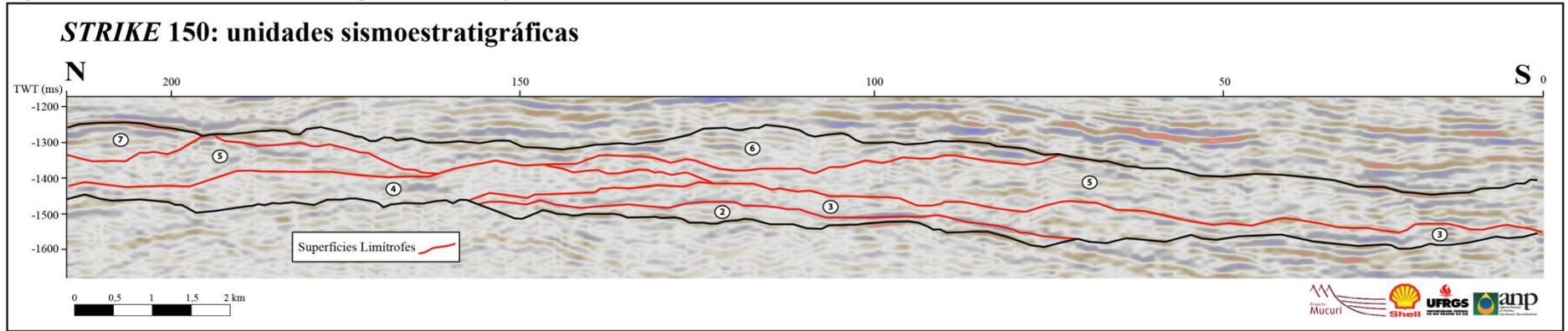
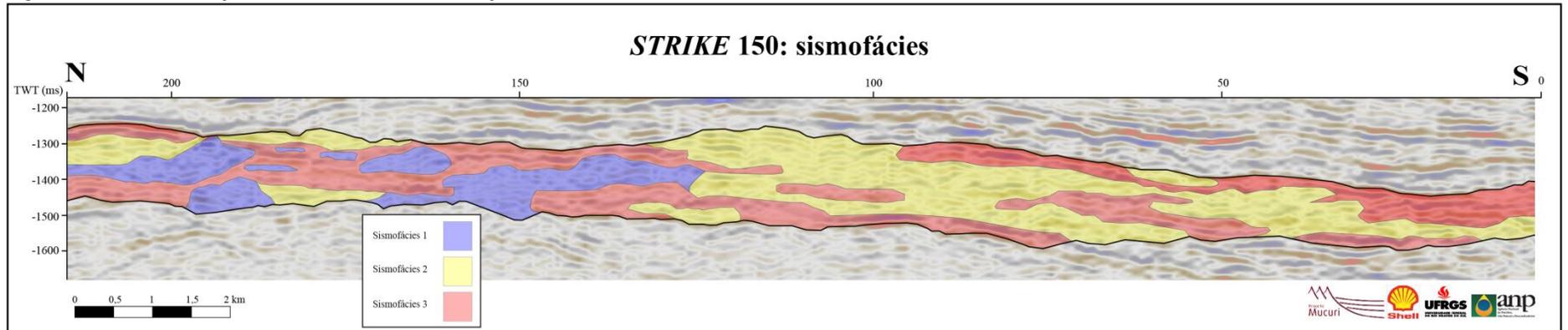


Figura 32 - Distribuição das sismofácies na seção *strike* da linha CS150.



5.6.2 Strike Crossline 350

Conforme a Figura 1, a linha sísmica *Crossline 350* está localizada na porção mais distal do volume Fazenda Cedro, mais para o leste. A sísmica não interpretada dessa linha está na Figura 33, e seus refletores interpretados na Figura 34. De modo geral, os refletores desta seção *strike* são descontínuos, principalmente em direção a norte e a sul, tendendo a ser mais contínuos no centro. Observam-se terminações em *downlap* na base e em *toplap* ou concordantes no topo.

Seis unidades sismoestratigráficas estão presentes na Seção *Strike 350* (Figura 35): US1, US2, US3, US4, US5 e US6. A US1 varre a seção de norte a sul, com maior espessura no norte, adelgaçando no centro, e pouca espessura no sul. A US2 ocorre apenas nas porções norte e sul sempre terminando em *downlap* contra a US1, estando ausente no centro. A US3 apresenta grande espessura no centro, pequena no norte e é ausente no sul da seção. Em contrapartida, a US4 só não aparece no norte, possuindo média espessura no centro e mínima no sul. Na Seção *Strike 350*, a US5 limita-se do centro para o sul, para onde ganha maior espessura. Por fim, a US6 é a unidade mais espessa e de maior continuidade da seção, contendo grande espessura no norte e média espessura no espaço restante.

Na Figura 36, é possível observar que a SF1 está bem distribuída nesta seção *strike*, aparecendo, em geral, como corpos alongados de boa espessura que, estão conectados no centro e mais dispersos em direção às extremidades. A SF2 é visivelmente a sismofácies predominante na linha *Crossline 350*, e aparece tanto preenchendo o espaço entre as outras duas sismofácies quanto envolvendo elas. A SF3 ocorre como corpos bastante alongados, principalmente na base e no topo do intervalo em questão, tendendo a desaparecer em direção ao centro da seção.

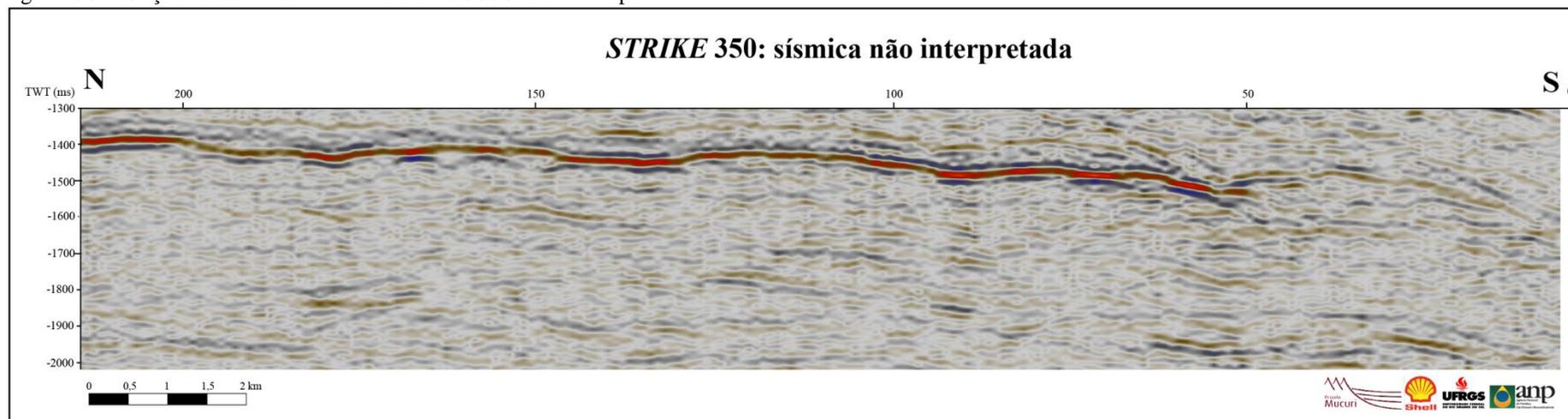
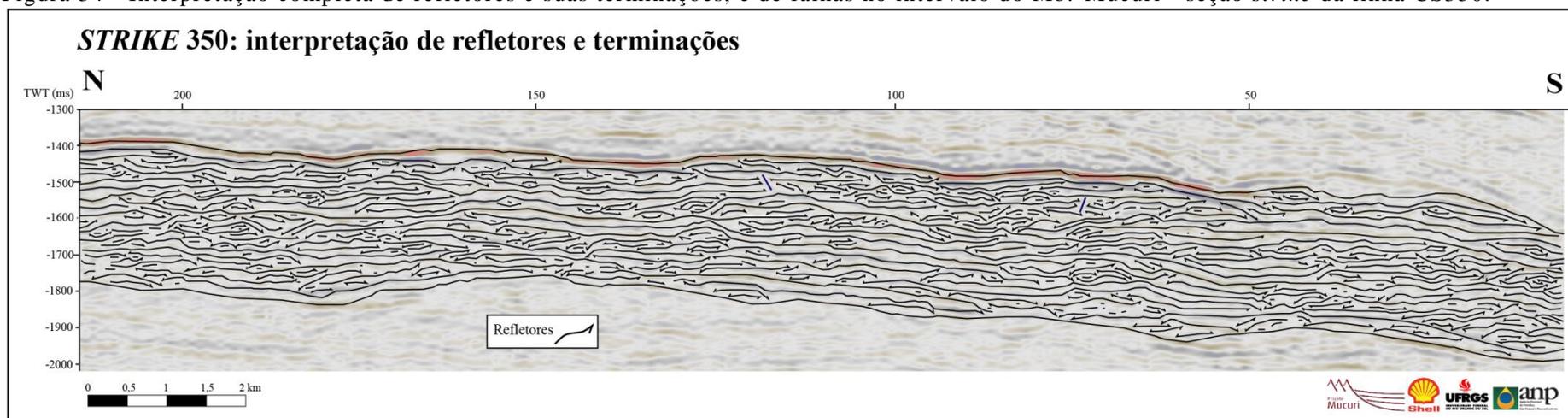
Figura 33 - Seção sísmica *strike* da linha CS350 não interpretada.Figura 34 - Interpretação completa de refletores e suas terminações, e de falhas no intervalo do Mb. Mucuri - seção *strike* da linha CS350.

Figura 35 - Unidades sismoestratigráficas da seção *strike* da linha CS350.

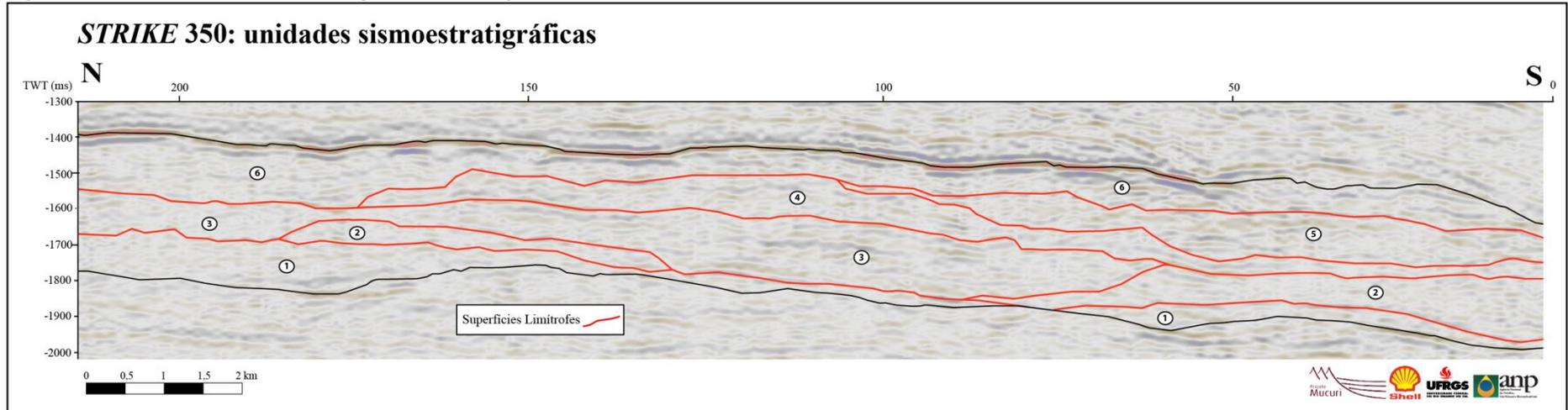
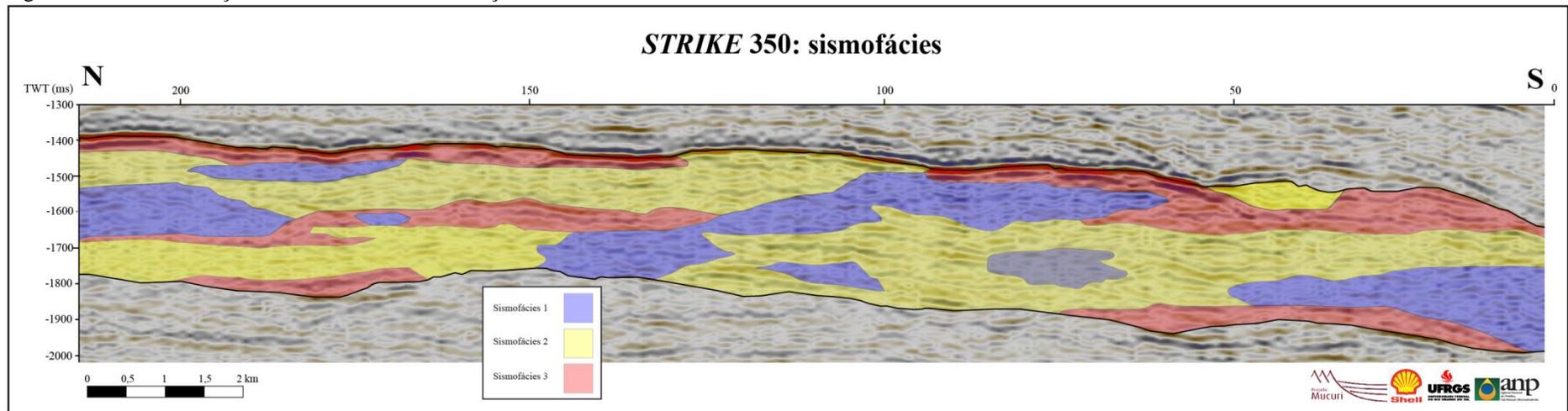


Figura 36 - Distribuição das sismofácies na seção *strike* da linha CS350.



5.7 Arcabouço Estratigráfico

Observando as unidades sismoestratigráficas e como as sismofácies estão distribuídas nas seções *strike* deste trabalho, é possível notar algumas mudanças nos padrões de deposição entre as porções proximal (*Strike* 150), a oeste, e distal (*Strike* 350), a leste, do cubo Fazenda Cedro. Estas variações são baseadas em diferentes distribuições espaciais e proporções entre as unidades e sismofácies.

Conforme as Figuras 31 e 35, a US1 é a única unidade que ocorre apenas na porção distal, estando melhor desenvolvida a norte. A presença da US2 proximal e distal parece ser complementar entre si, uma vez que esta unidade está presente somente na porção mais central da *Strike* 150, onde é ausente na *Strike* 350, sugerindo uma ramificação da deposição a partir do centro do volume sísmico para as suas extremidades N e S no sentido proximal-distal. A US3 começa com pouca espessura na parte proximal, onde é ausente a norte, ganhando maior expressividade na parte distal e migrando em direção a norte, tornando-se ausente a sul na *Strike* 350. A US4 aparece mais restrita a N proximalmente e ganha espaço e espessura na porção distal, migrando do norte para ocupar o centro e o sul da área estudada. A US5 é a única unidade que é maior na porção proximal e menor na distal, cobrindo quase toda a extensão da *Crossline* 150 e restringindo-se mais ao sul da *Crossline* 350. A US6 inicia com menor expressividade proximalmente, onde é ausente a sul, e torna-se muito espessa distalmente, ocupando a *Strike* 350 de norte a sul. A presença da US7 é restrita apenas à porção mais proximal, sendo quase que irrelevante a sua aparição, ao norte da *Strike* 150.

Analisando as Figuras 32 e 36, as seguintes mudanças no sentido proximal-distal são vistas: um aumento da concentração da SF1, que passa a ocupar também as porções centro e sul; um aumento significativo da dominância da SF2; e uma suave diminuição da SF3, que se torna ausente mais ao centro.

De maneira geral, a partir dos diagramas cronoestratigráfico (Figuras 26, 27 e 28), pode-se dividir estratigraficamente o Membro Mucuri em duas fases. A primeira fase inclui as unidades US1, US2 e US3, onde há uma transgressão de sistemas predominantemente fluviais a sul e no centro (linhas IN40 e IN110 – Figuras 26 e 27), e de sistemas costeiros em maior concentração ao norte (IN180 – Figura 28). Uma segunda fase, da unidade US4 à US6, retrata uma regressão com intercalação de maior frequência entre sistemas fluviais e deltaicos, sem padrão de empilhamento evidente nem *onlaps* bem desenvolvidos (exceto na linha IN180 – Figura 28). É importante citar que a observação das sismofácies é limitada a uma escala

subssísmica, isto é, uma vez que a alternância entre sistemas fluviais e costeiros é dada por associações de fácies na ordem de 2 a 5 m (Figura 22), a escala de análise sísmica das sismofácies apenas compartimenta internamente o dado sísmico em regiões de maior e menor concentração desses sistemas. Desta forma, considerando as escalas diferentes entre estratigrafia e sísmica, o dado sísmico registra uma dominância de sistemas deposicionais como sismofácies, indicando maior ou menor possibilidade de ocorrência de um determinado sistema, o que impossibilita a análise das sismofácies individualmente.

Com base nas informações providas pelos produtos da análise sismoestratigráfica aplicada ao presente trabalho, é possível definir um arcabouço estratigráfico para o Membro Mucuri no volume sísmico 3D Fazenda Cedro. O membro estudado consiste em um sistema costeiro dominado por ondas (SF2) com oscilação no grau de influência de sistemas fluviais dominados por canais (SF1) e por planície (SF3). Neste modelo de evolução deposicional, poucos canais na parte proximal do dado sísmico carregam sedimentos de origem continental, que deságuam em um corpo d'água distalmente. Os poucos canais tendem a ramificar distalmente, condicionando a migração das frentes deltaicas. Desta forma, por representar sistemas costeiros, maiores concentrações da SF2 distalmente condizem com o modelo elaborado, visto que há dominância de sistemas fluviais na porção mais proximal. Juntamente ao aumento de deposição deltaica distal, há associação de mais canais fluviais com melhor distribuição N-S.

6. MAPEAMENTO SÍSMICO – RESULTADOS E DISCUSSÕES

O mapeamento sísmico consiste num mapeamento regional direcionado, a partir do espalhamento das unidades sismoestratigráficas (US) para todo o volume sísmico analisado, baseando-se no cruzamento de linhas sísmicas selecionadas. Nesse mapeamento, é necessário conectar as interpretações individuais das linhas *dip*, o que é feito por meio das linhas *strike*. Desta forma - a fim de entender a evolução deposicional e o comportamento dessas unidades - além das *dip*, as linhas sísmicas *strike* também foram analisadas, com interpretação de refletores internos e suas terminações, e reconhecimento de unidades sismoestratigráficas e sismofácies. Mapas de topo e isócronas são os principais produtos do mapeamento sísmico aqui realizado, onde todas as US das seções sísmicas *dip* (IN40, IN110 e IN180) e *strike* (CS150 e CS350) foram exportadas do *software Adobe Illustrator* para o *Petrel*, e posteriormente mapeadas em outras 18 linhas *dip* e 47 linhas *strike*, ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro.

Neste trabalho de conclusão de graduação, o mapeamento sísmico sistemático das unidades sismoestratigráficas, e a geração dos mapas de topo das unidades, bem como dos mapas de espessura sísmica (isócronas), são todos apresentados em tempo sísmico duplo (*two-way travelttime*, em milissegundos – ms). As linhas isócronas são abordadas como linhas de mesma espessura sísmica. Este formato de apresentação dos dados é necessário, visto que o volume sísmico trabalhado não possui conversão tempo-profundidade. O volume sísmico Fazenda Cedro foi adquirido no início da década de 1990, e, assim, os parâmetros necessários para sua conversão em profundidade não foram coletados por limitação tecnológica do período. Entretanto, é válida a utilização dos mapas em tempo sísmico, dada a relativa equivalência entre maiores e menores espessuras e profundidades em tempo sísmico, e profundidades reais em metros.

6.1 Mapeamento do Membro Mucuri

A partir do mapeamento inicial apresentado na Seção 5.1 desta monografia, foram gerados mapas de base, topo e isócronas para o Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro. A Figura 37 exibe o mapa da base do Membro Mucuri. Os valores máximos de profundidade estão localizados ao sudeste da área de estudo, chegando a até -2400 ms, enquanto

os mínimos alcançam -1050 ms e estão concentrados no extremo oeste e no noroeste. A base do Membro Mucuri apresenta relevo suavizado, o que é indicado pela variação gradual de profundidade sísmica em um *trend* geral W-E. A Figura 38 mostra a topografia do topo do Membro Mucuri (equivalente à base do sal do Mb. Itaúnas - Figura 2), o qual atinge profundidade sísmica máxima de -1950 ms no sudeste, e mínima de -1050 ms no noroeste. A profundidade do topo do Mb. Mucuri aumenta gradualmente no sentido NW-SE.

Figura 37 - Mapa da superfície basal do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro.

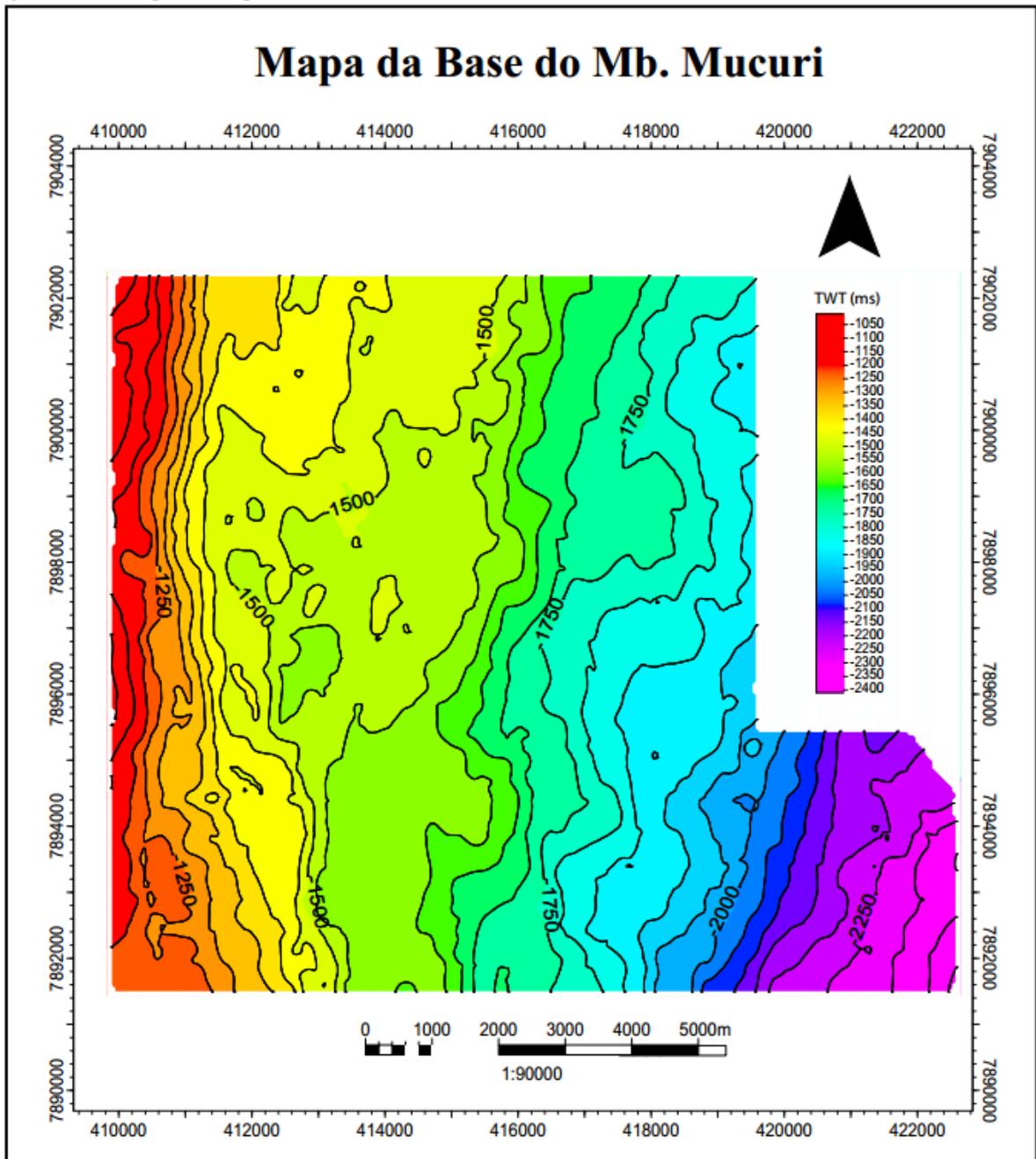
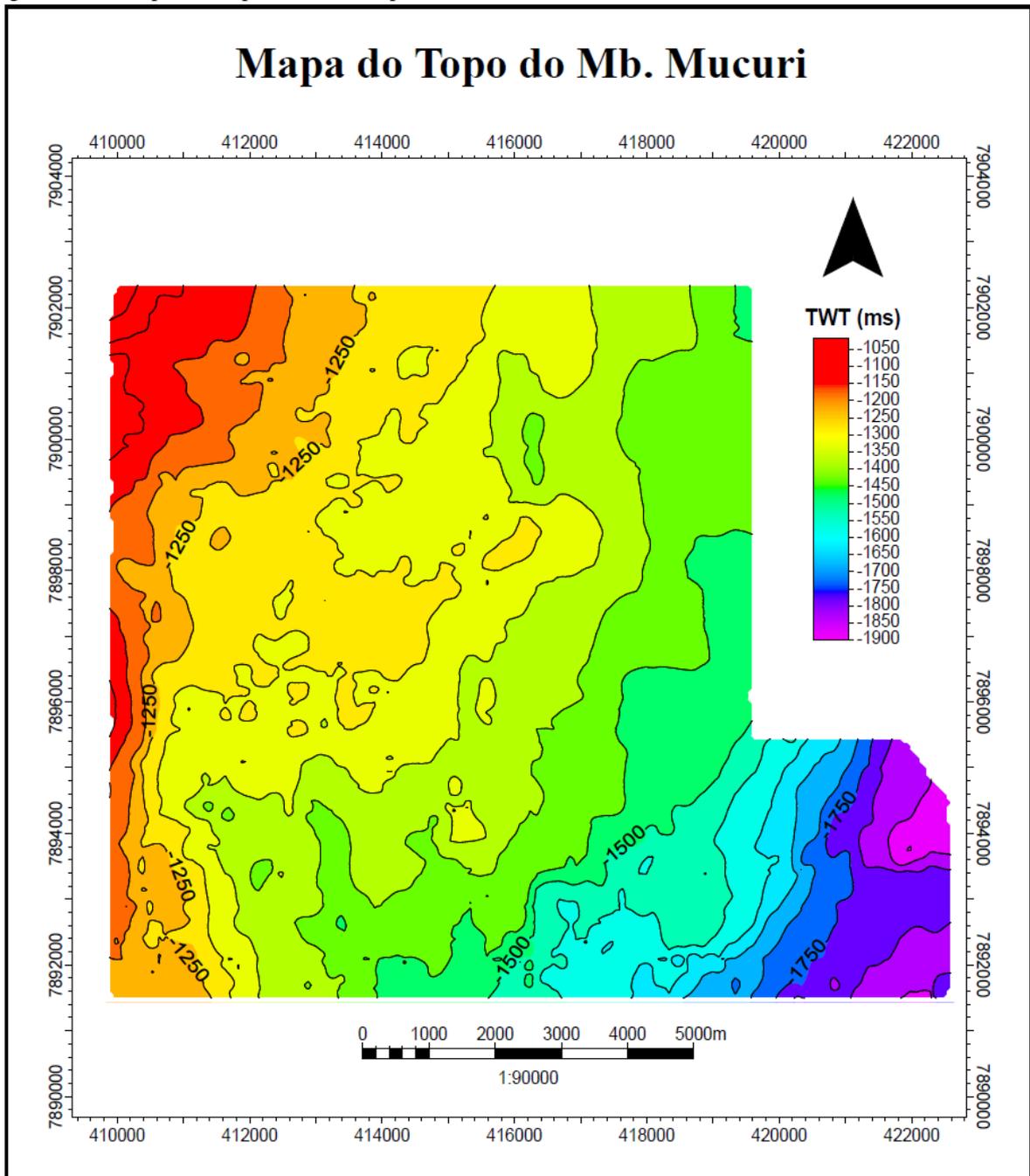


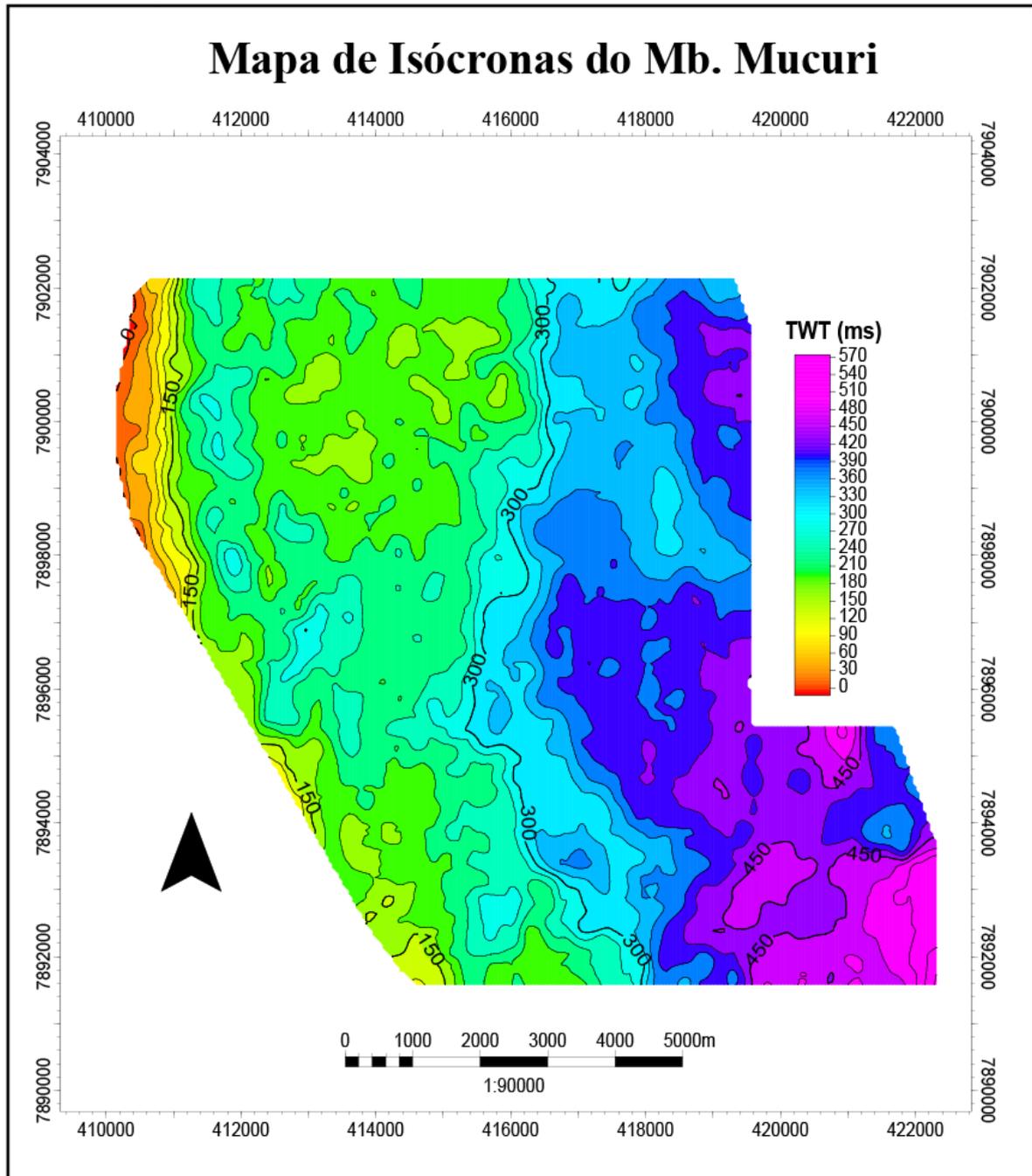
Figura 38 - Mapa da superfície de topo do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro.



A partir dos mapas de base e topo, foi produzido um mapa de isócronas para o Mb. Mucuri. A Figura 39 permite visualizar como o Membro Mucuri está distribuído no volume sísmico Fazenda Cedro, mostrando suas variações em espessura sísmica. No mapa de isócronas do Mb. Mucuri, percebe-se uma tendência geral de aumento da espessura no sentido W-E, sendo nula no noroeste e máxima no extremo sudeste, onde atinge 570 ms. De modo generalizado, as isócronas indicam relevo suavizado - exceto bem a noroeste, onde há adensamento das linhas com aumento rápido de espessura até cerca de 200 ms, e no centro-norte, onde uma grande área em verde apresenta menor espessura que a circundante. O mapa da Figura 39 exibe uma falha

bem a oeste do cubo investigado, associada ao menor espaçamento entre as isócronas, o que possivelmente condicionou maior deposição ao seu leste imediato, uma vez que a espessura volta a reduzir e aumentar gradualmente em direção ao depocentro do membro, a sudeste.

Figura 39 - Mapa de isócronas do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro.



6.2 Mapeamento das Unidades Sismoestratigráficas

Uma vez que todas as unidades sismoestratigráficas identificadas foram mapeadas por todo o volume sísmico de enfoque, mapas de topo e isócronas foram gerados para cada unidade como produto final do mapeamento sísmico. Mapas de base e topo das US foram utilizados como dados de entrada na geração dos mapas de isócronas, contudo os mapas de limite inferior não são mostrados neste trabalho, porque o topo de uma unidade mais antiga equivale à base de uma unidade mais nova sobreposta a ela. Abaixo, segue detalhamento do comportamento das superfícies produzidas por interpolação automática do *software Petrel*. As Figura 42 (Página 93), Figura 45 (Página 96), Figura 48 (Página 100), Figura 51 (Página 103), Figura 54 (Página 107), e Figura 57 (Página 110) mostram a distribuição deposicional de cada unidade sismoestratigráfica no cubo sísmico Fazenda Cedro. Embora a US7 tenha sido reconhecida nas linhas *Inline* 180 e *Crossline* 150, esta unidade não apresenta nem continuidade nem volume relevantes, portanto não foram gerados mapas de superfície ou de isócronas para ela.

6.2.1 Unidade Sismoestratigráfica 1 (US1)

A US1 é a unidade com menor expressão em área mapeada no volume sísmico Fazenda Cedro, limitando-se apenas à sua porção leste. A Figura 40 mostra que o topo desta unidade apresenta profundidade sísmica com pico mínimo em torno de -1600 ms ao norte, e máximo de -2250 ms no sudeste. É importante citar que esta variação não é abrupta, embora seja mais acentuada na direção E-W bem ao sul, menos acentuada na direção N-S e bem pouco significativa no extremo norte do topo da US1. Portanto, de maneira geral, a tendência de aprofundamento vista no mapa de topo da US1 dá-se na direção NW-SE.

No mapa de isócronas da US1 Figura 41, é possível observar que esta unidade sismoestratigráfica concentra maiores espessuras sísmicas na porção nordeste da área mapeada, atingindo cerca de até 180 ms. Ao longo do espaço restante no qual ocorre, a US1 apresenta predominantemente por volta de 50 ms de espessura, podendo alcançar, localizadamente, 100 a 110 ms no centro e no extremo sudeste da unidade. A partir de uma área restrita de espessura entre 80 e 100 ms no centro da US1 e de seu pico máximo a nordeste, pode-se concluir que esta unidade possui um depocentro NE principal e outro central subordinado.

Figura 40 - Mapa da superfície de topo da US1.

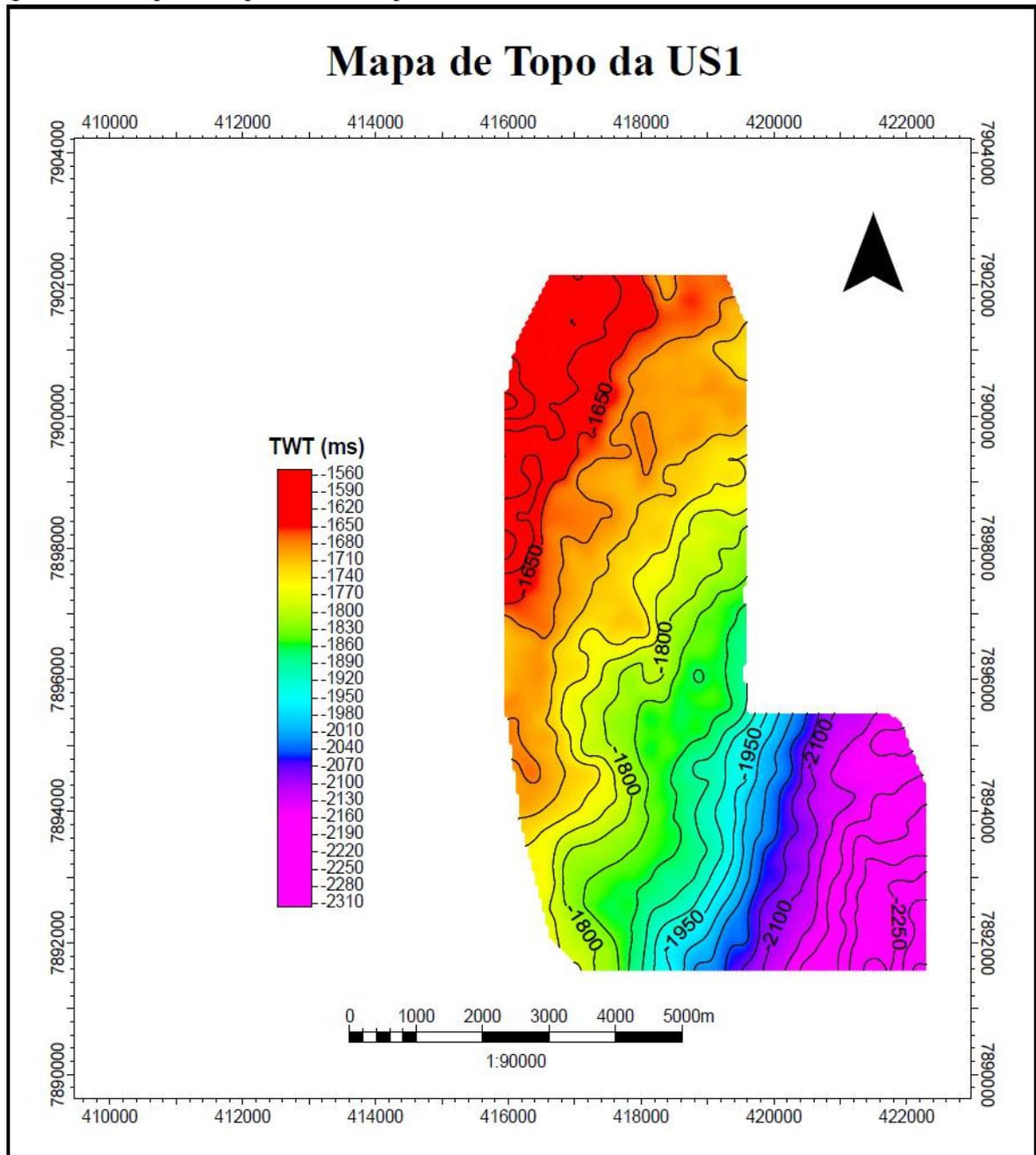


Figura 41 - Mapa de isócronas da US1.

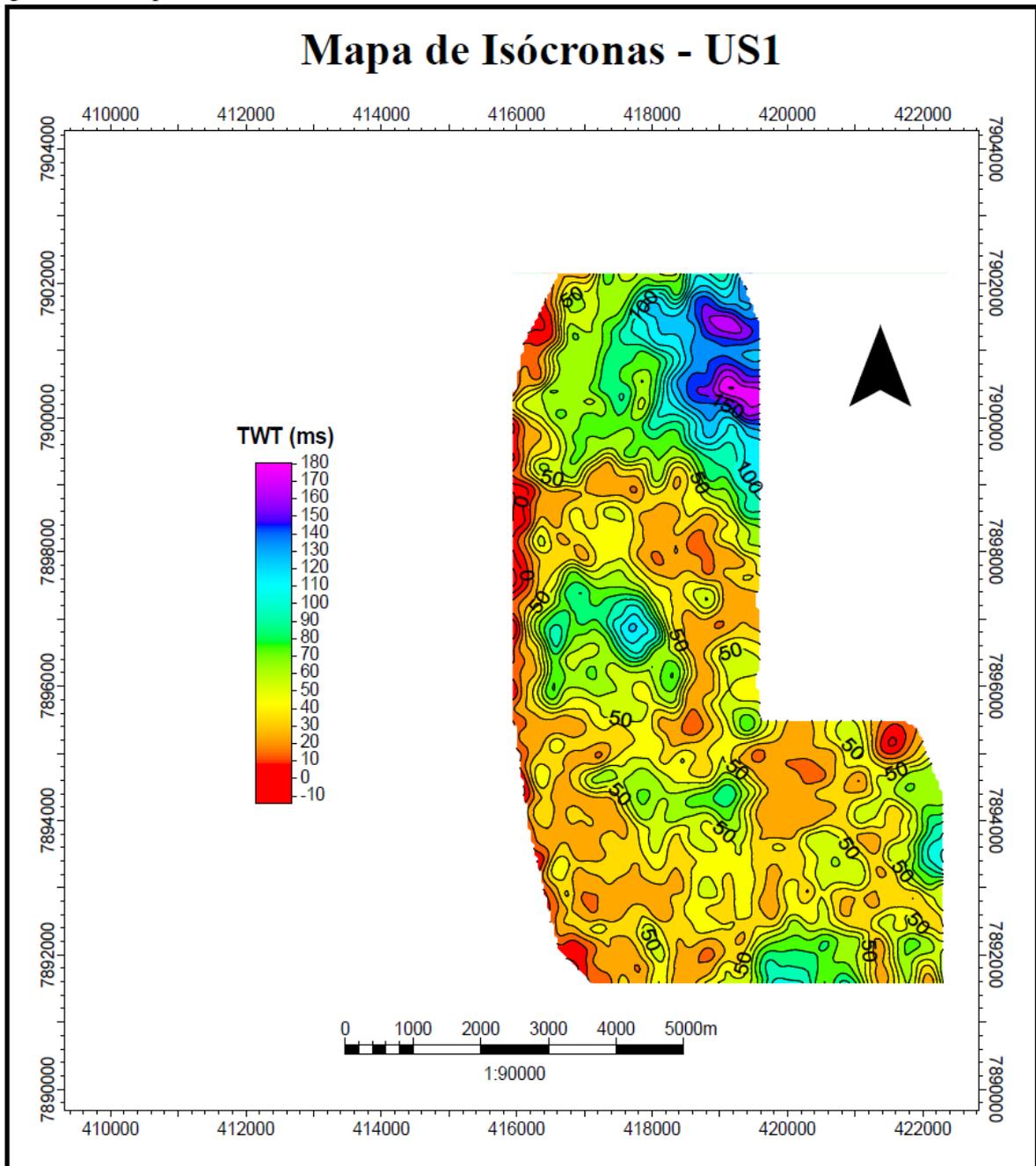
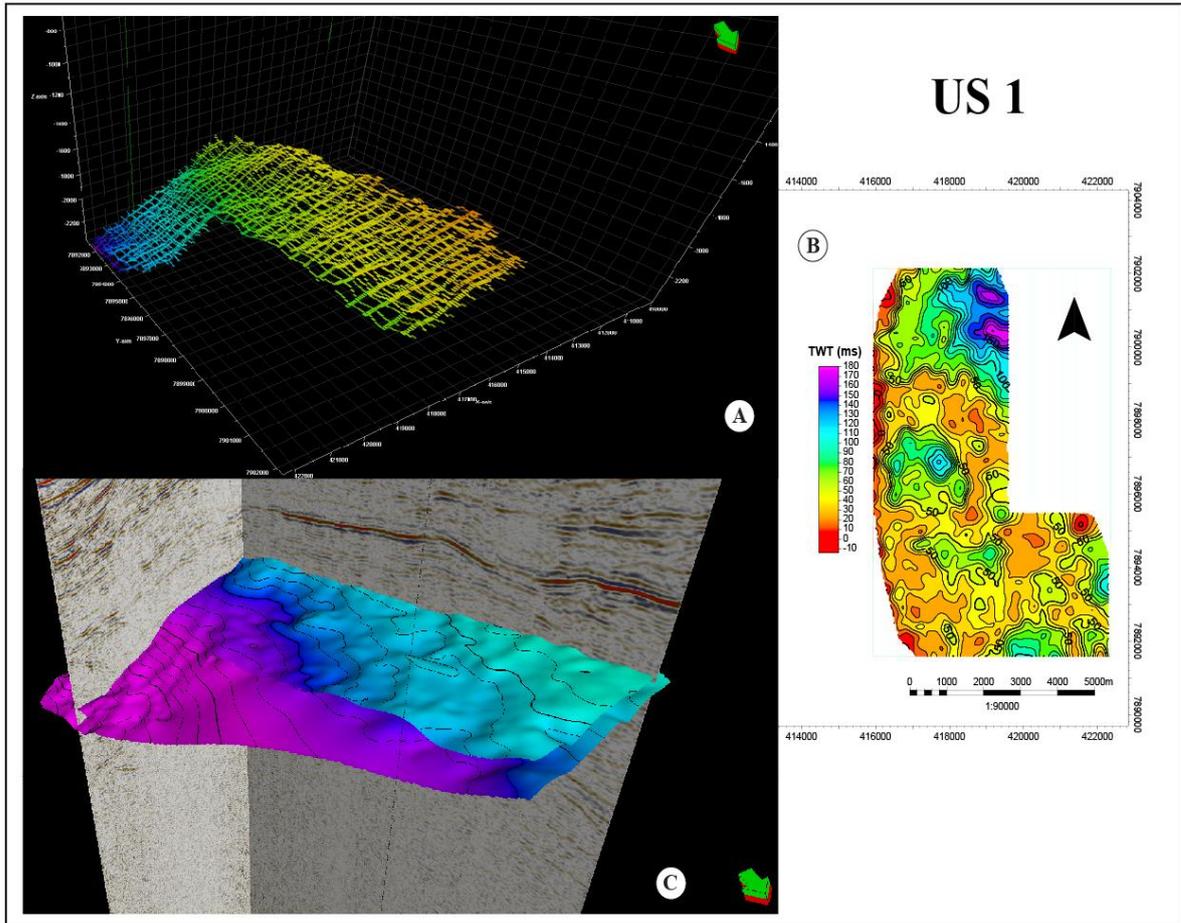


Figura 42 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US1 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US1; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US1, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções *dip* e *strike*. A seta verde indica para o norte.



6.2.2 Unidade Sismoestratigráfica 2 (US2)

Na Figura 43, é possível perceber que a US2 aparece na mesma localidade que a US1, porém de maneira expandida em direção ao centro do cubo analisado, chegando a preencher o centro-oeste localmente. O topo da US2 possui topografia suavizada, com profundidades aproximadas entre -1500 e -2000 ms, no centro-oeste e norte, e no sudeste -respectivamente. Nota-se a variação de profundidade do topo da US2 do centro para o sudeste do cubo sísmico, onde a variação é bem mais evidente ao sul, e menos ao norte da unidade.

O mapa de isócronas gerado para a US2 (Figura 44) possui pico de espessura sísmica no sudeste da sua área de distribuição, onde atinge mais de 200 ms. Adicionalmente, são visíveis duas áreas de menor espessura, com aproximadamente 150 ms, ao centro e ao sul da unidade.

Nas demais regiões, a espessura fica em torno dos 50 ms, reduzindo gradativamente até zero para oeste, centro-leste e nordeste. Na Figura 44, um adensamento importante das isócronas é observado no centro da US2, delimitando uma falha N-S que corta praticamente todo o volume sísmico. A concentração alongada de espessuras consideravelmente maiores - representadas em tonalidades verdes e, localmente, azuis – pode ser atribuída ao controle deposicional gerado por esta estrutura.

Figura 43 - Mapa da superfície de topo da US2.

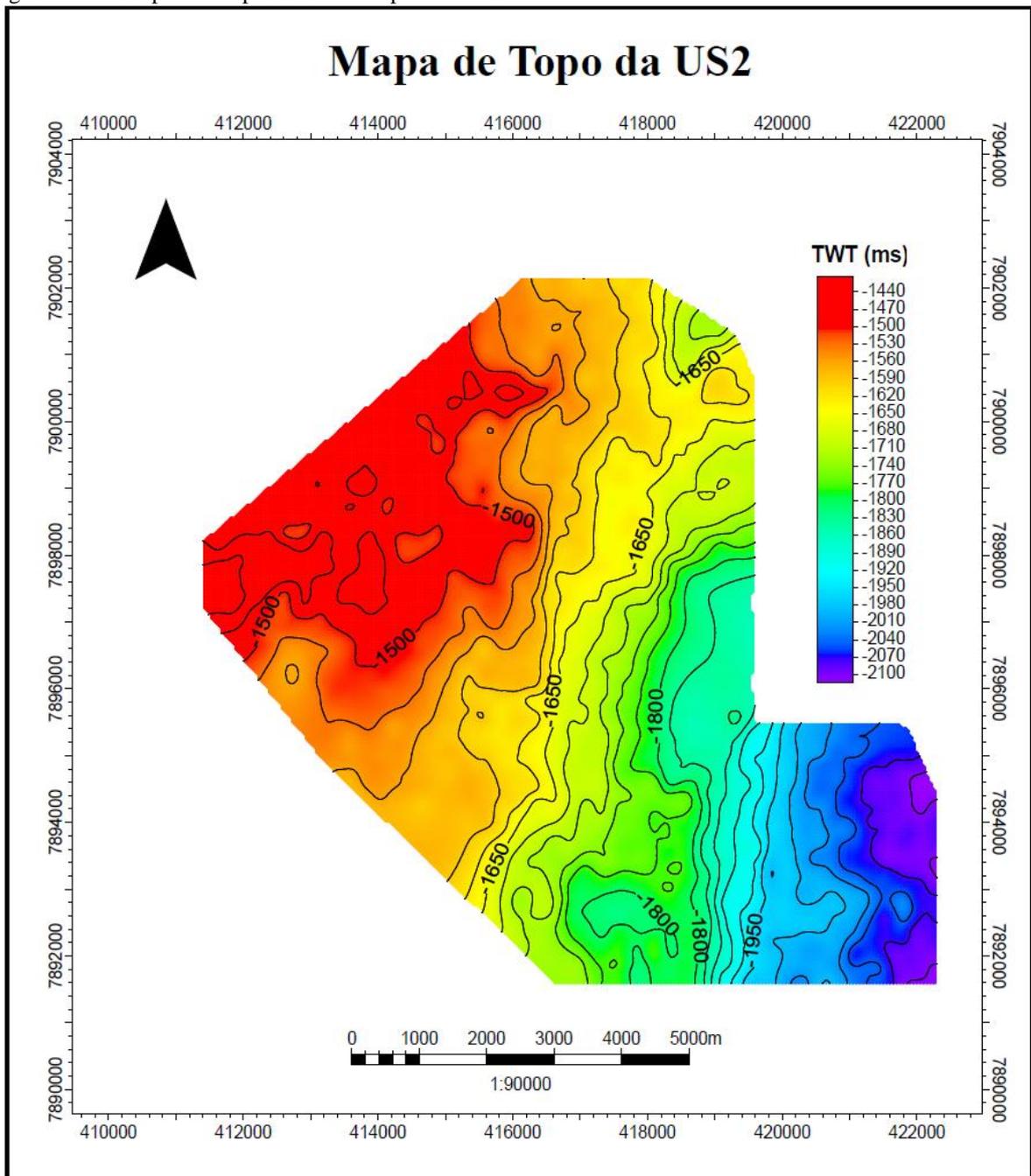


Figura 44 - Mapas de isócronas da US2.

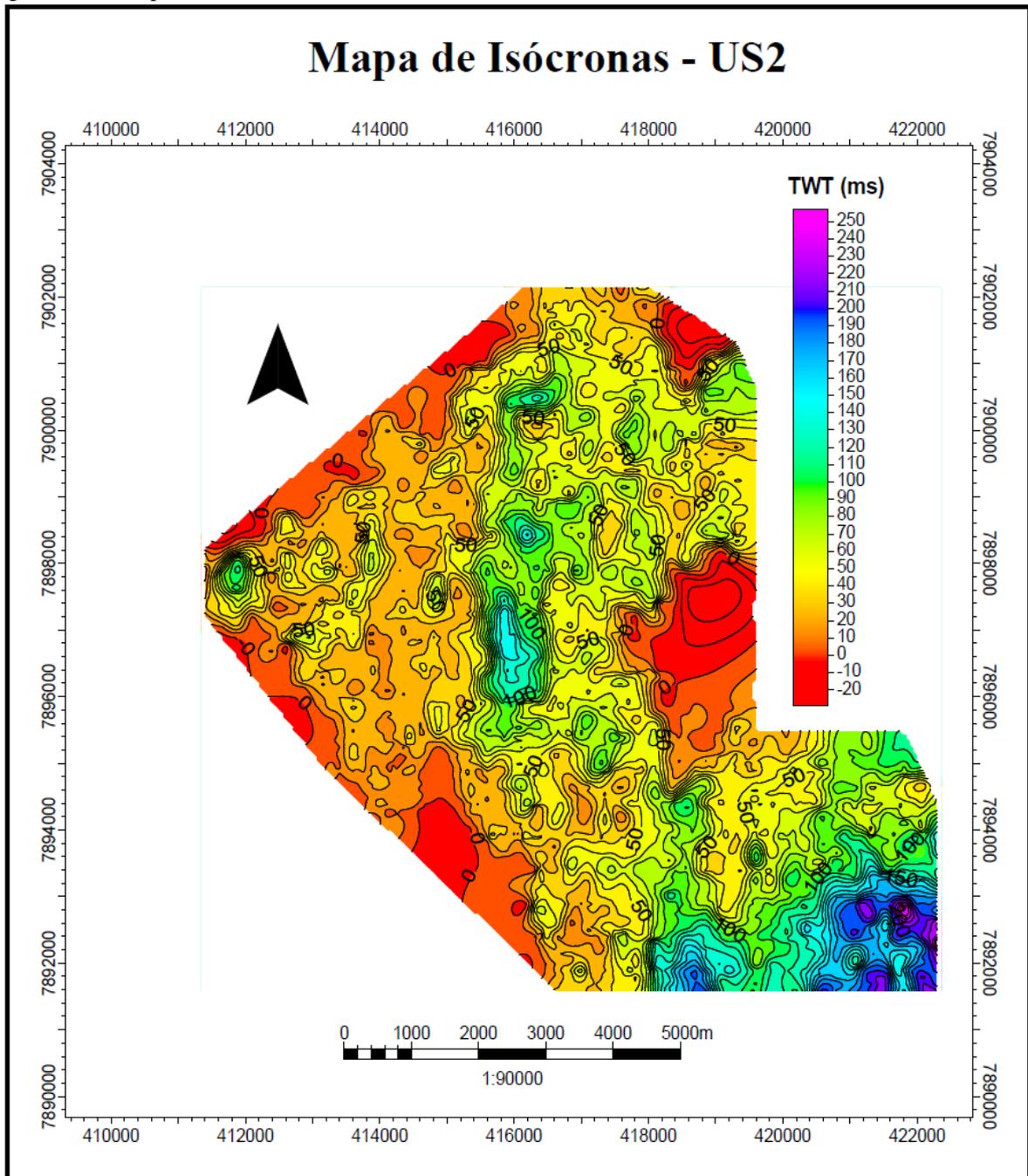
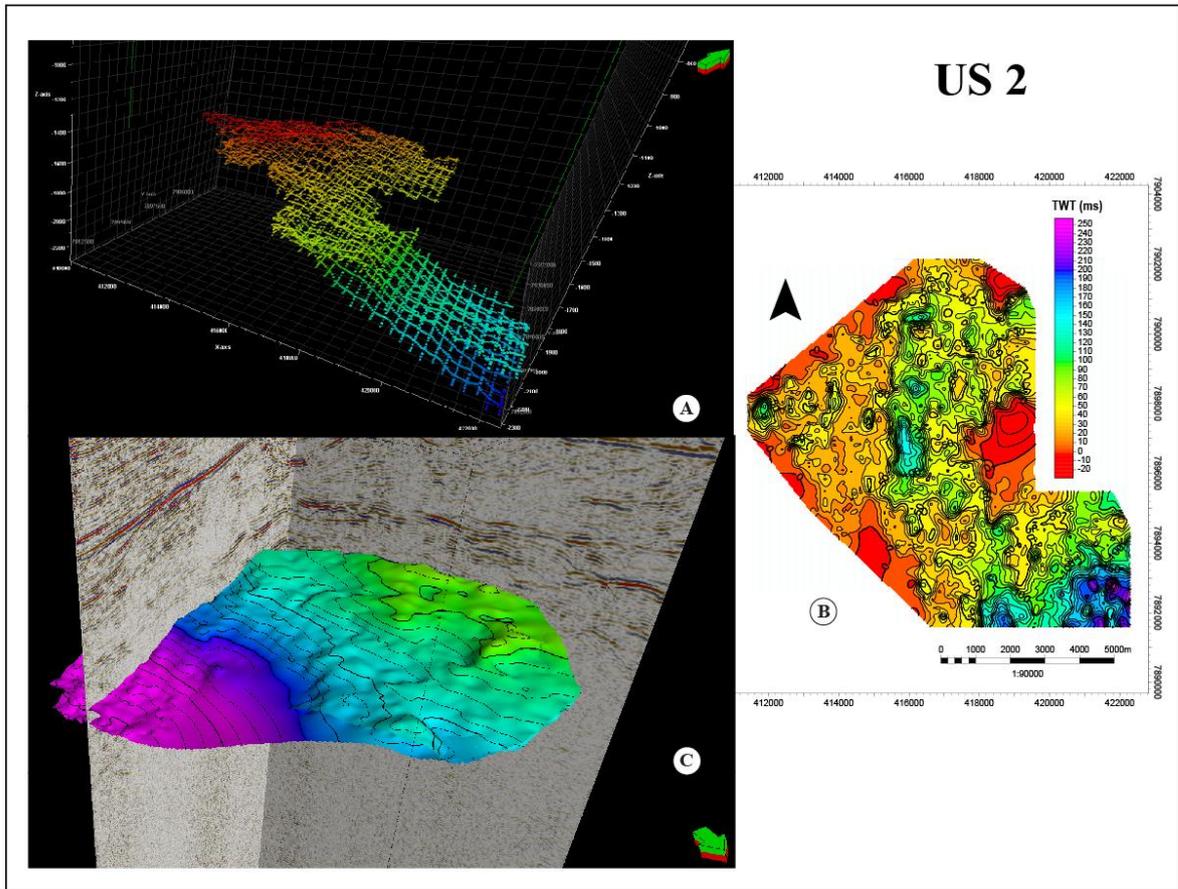


Figura 45 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US2 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US2; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US2, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções *dip* e *strike*. A seta verde indica para o norte.



6.2.3 Unidade Sismoestratigráfica 3 (US3)

Diferentemente das unidades sismoestratigráficas US1 e US2, a US3 (Figura 46) não tem ocorrência no sudeste do dado que foi mapeado. O mapa de topo da US3 apresenta a menor amplitude de profundidade sísmica das unidades sismoestratigráficas deste trabalho: apenas 300 ms. O menor valor registrado na US3 é de aproximadamente -1400 ms ao centro, e o maior de por volta de -1900 ms no sudoeste. Como nas unidades US1 e US2, embora seja atenuado, o topo da US3 possui maior variação de valores no sentido NW-SE, com tendência a aumentar mais ao sul e menos ao norte.

As isócronas da US3 (Figura 47) indicam maiores espessuras como áreas no cubo Fazenda Cedro, onde: uma área menor atinge valor máximo de cerca de 210 ms no centro-leste; paralelamente ao pico de espessura da unidade, há desenvolvimento de uma área maior,

levemente alongada e com um *range* de aproximadamente 80 a 140 ms de espessura ao centro; e quatro áreas menores com, em média, 90 a 100 ms de espessura a centro-oeste, ao centro, a sul e a nordeste. O resto das isócronas da US3 apresentam espessuras entre 20 e 50 ms, as quais se tornam nulas no extremo sul, no sudoeste e no sudeste. A mudança de espessura vista no corpo alongado predominantemente verde no centro-leste da unidade sugere a ocorrência de uma falha N-S de extensão limitada, a qual possivelmente causou maior deposição ao seu leste. As áreas de espessura significativa dispersas na US3, bem como o pico de espessura máximo indicam múltiplos depocentros pequenos sem controle estrutural evidente.

Figura 46 - Mapa da superfície de topo da US3.

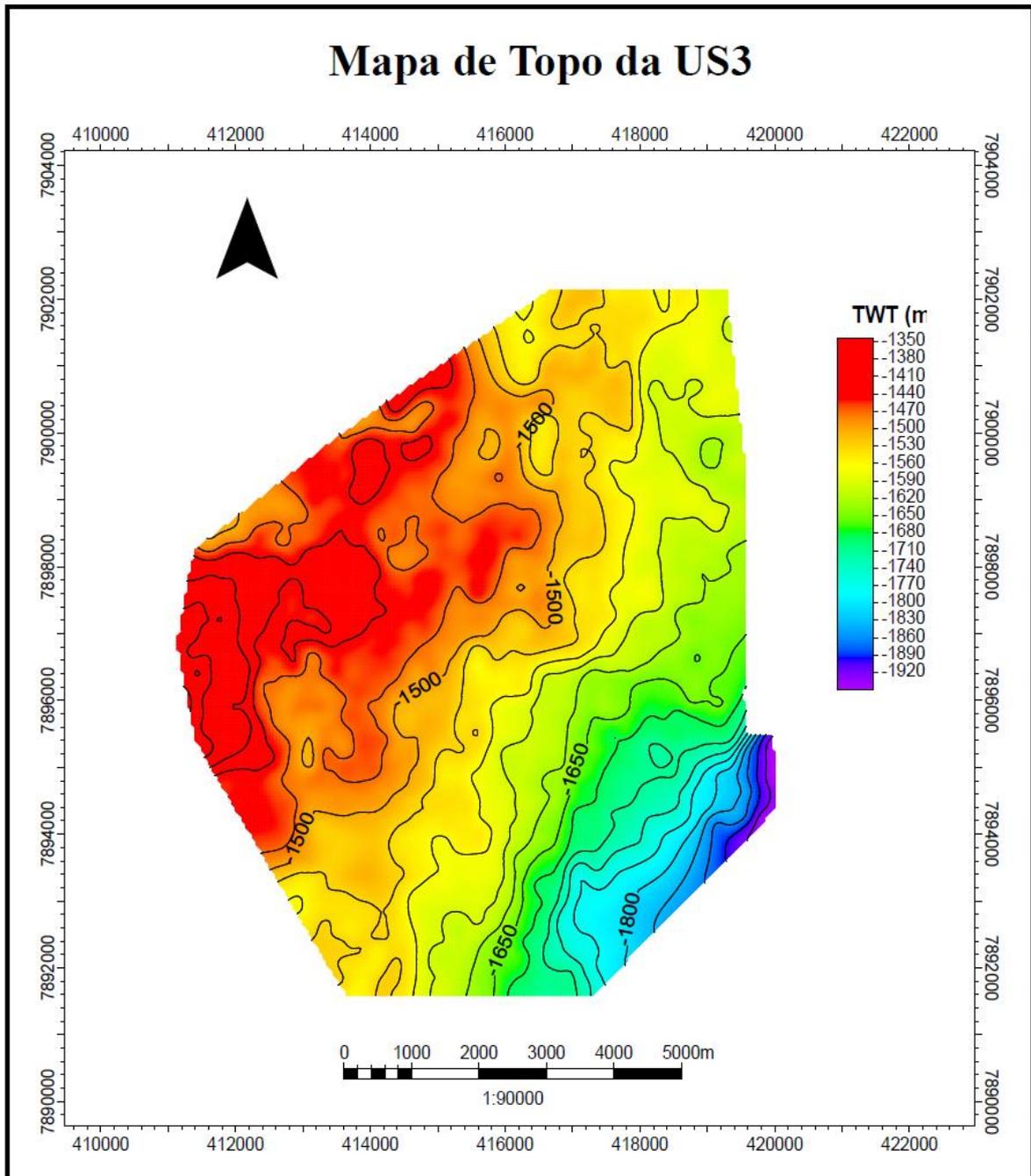


Figura 47 - Mapa de isócronas da US3.

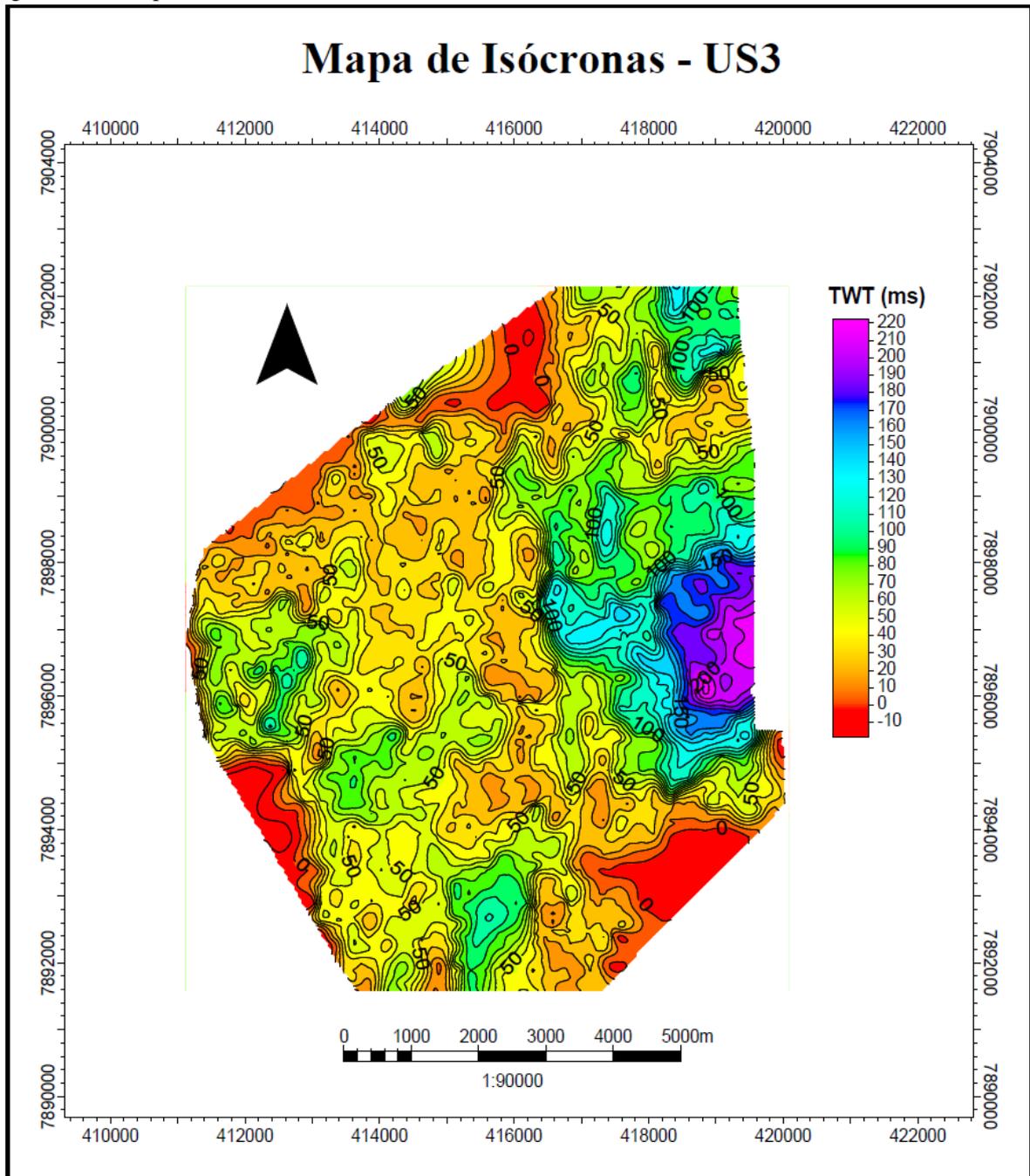
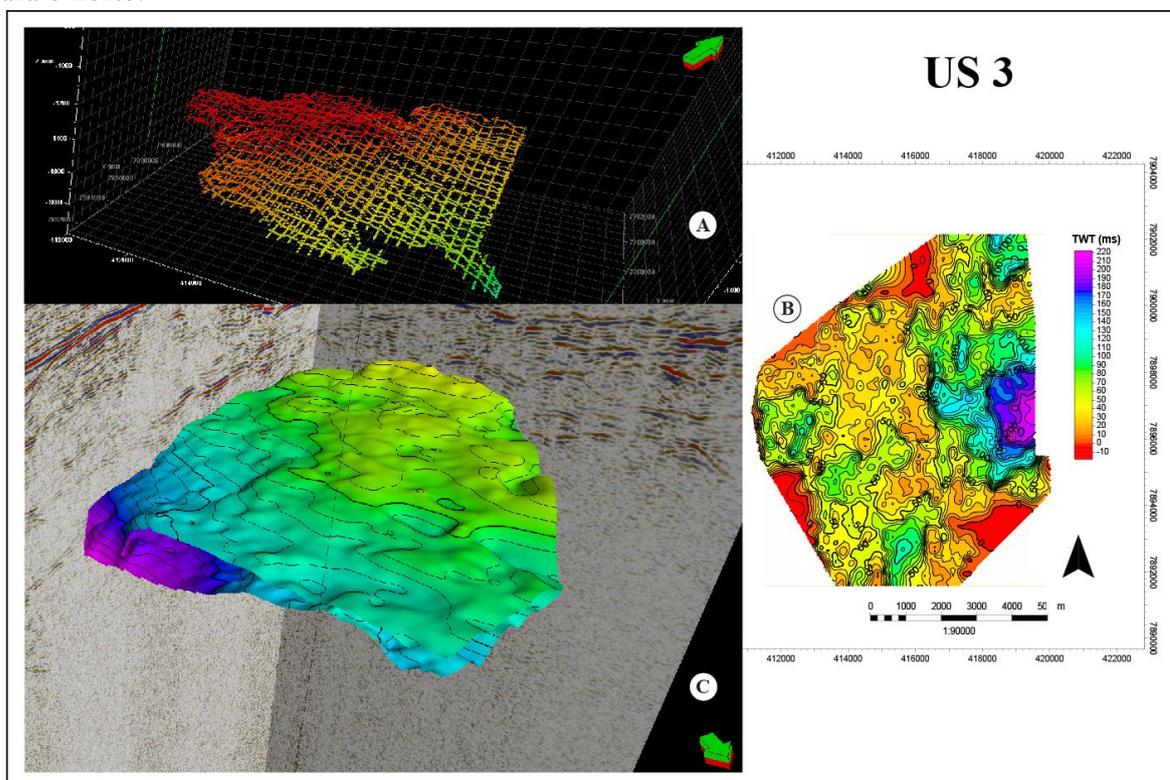


Figura 48 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US3 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US3; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US3, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções *dip* e *strike*. A seta verde indica para o norte.



6.2.4 Unidade Sismoestratigráfica 4 (US4)

A US4 está distribuída aproximadamente ao longo de uma faixa NW-SE do cubo sísmico Fazenda Cedro. Conforme a Figura 49, o topo desta unidade possui profundidades de -1350 ms no noroeste, e de -1920 ms no sudeste, sendo a transição entre elas bastante gradual de NW para SE. A amplitude de profundidade, como nas outras unidades já mencionadas, também é mais expressiva a sul do que a norte.

O mapa de isócronas da US4 (Figura 50) mostra espessuras maiores em áreas expressivas, predominantemente, por volta de 100 ms, no noroeste, no centro, e no sudeste desta unidade, onde a espessura sísmica chega ao seu ápice com média em torno de 180 ms e máxima de 250 ms. Com menor relevância, mas ainda sim cobrindo uma área considerável de distribuição sem padrão definido, a espessura da US4 fica entre 30 e 50 ms em média, tornando-se nula nas suas porções nordeste e sudoeste. De maneira geral, a US4 apresenta um depocentro bem definido

para SE. Pequenas falhas N-S parecem controlar localmente uma maior deposição dessa unidade, no noroeste, no centro-sul e no sudeste.

Figura 49 - Mapa da superfície de topo da US4.

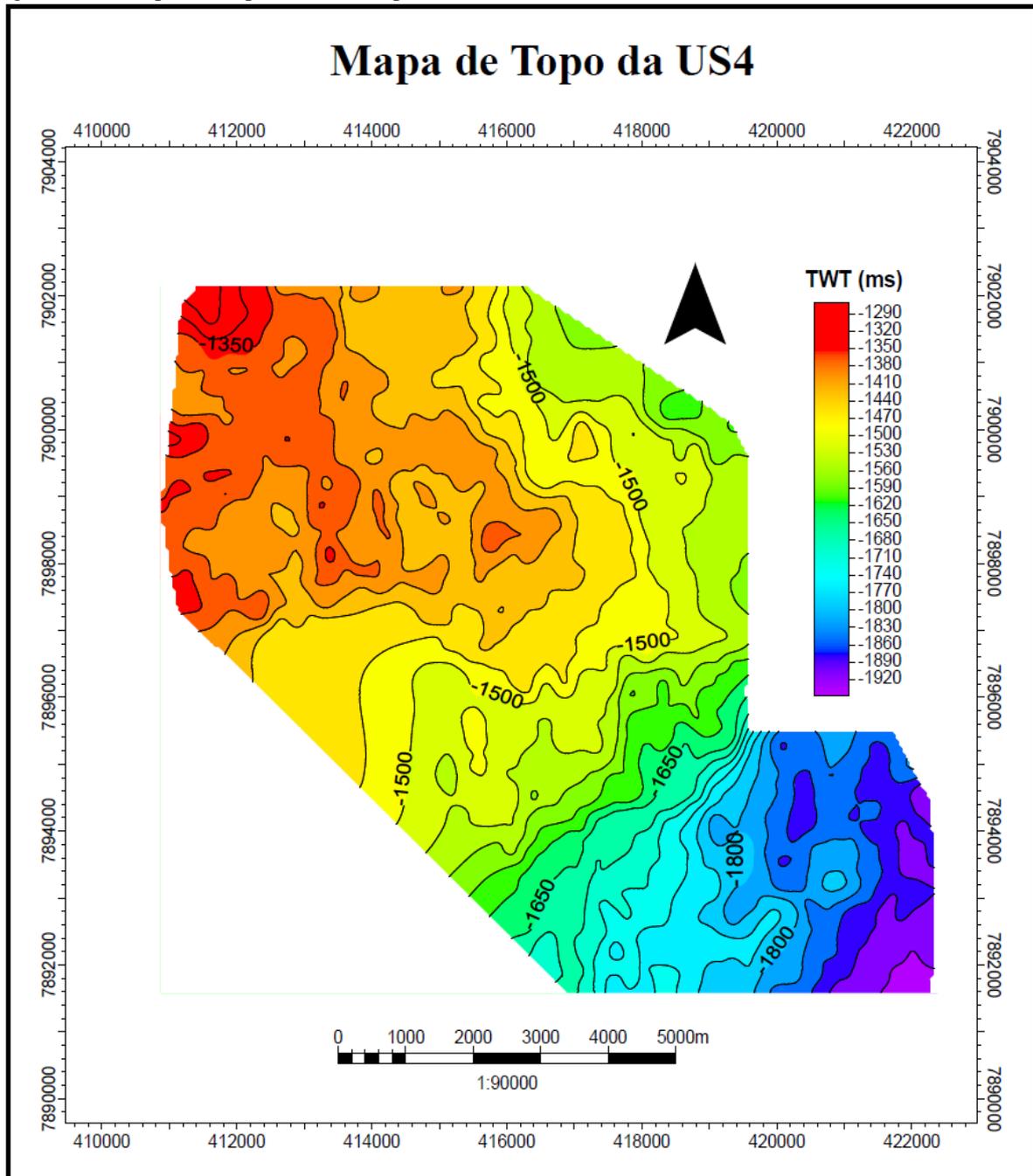


Figura 50 - Mapa de isócronas da US4.

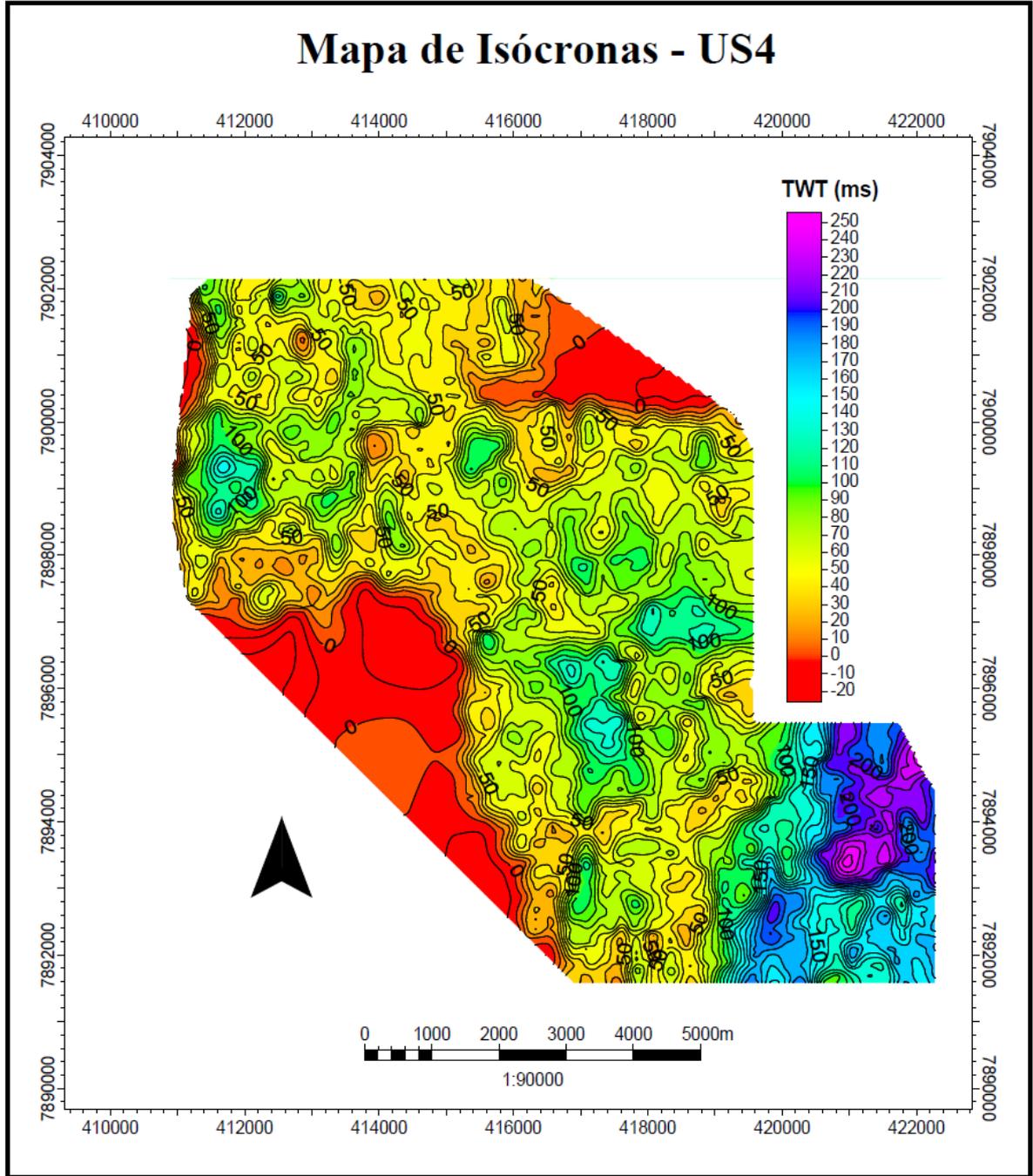
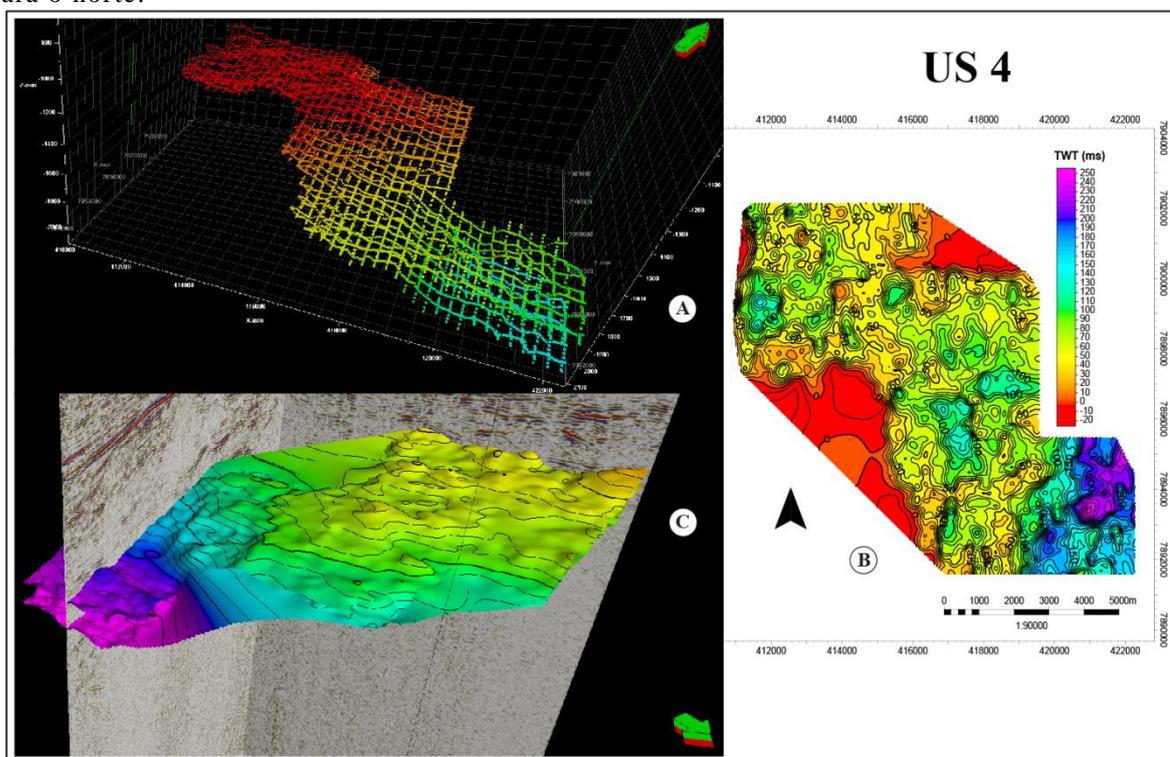


Figura 51 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US4 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US4; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US4, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções *dip* e *strike*. A seta verde indica para o norte.



6.2.5 Unidade Sismoestratigráfica 5 (US5)

A Figura 52 mostra uma ampla distribuição da unidade US5. Segundo o mapa gerado, o topo desta unidade sismoestratigráfica apresenta amplitude aproximada de profundidade de -1200 ms, a noroeste, até -1890 ms a sudeste. No sentido NW-SE, a variação do topo da US5 é gradativa, desta vez não sendo notória diferença significativa da amplitude de profundidade entre os setores norte e sul da unidade.

Na Figura 53, nota-se que as maiores espessuras sísmicas da US5 estão concentradas mais ao sul da área mapeada. De maneira simplificada, existem três regiões no mapa de isócronas com espessuras de, em média, aproximadamente 100 a 130 ms: uma área que ocupa grande parte do sudeste da unidade, com três núcleos pequenos chegando ao pico máximo de espessura de 190 ms; uma área mais larga que se estende desde o centro-sul até o centro-oeste, também atingindo 190 ms numa porção bem restrita na sua porção central mais superior; e uma área menos expressiva ao norte da unidade, com espessura máxima de 130-140 ms mais a oeste. Em

contrapartida, o restante da US5 apresenta espessuras majoritariamente entre 10 e 70 ms, em média 50 ms, tendendo a desaparecer em direção a leste e a nordeste. Localizadamente, a inexistência de deposição da US5 chama atenção, sendo retratada como formas pequenas - ora arredondadas ora mais alongadas - em vermelho no mapa (Figura 53), principalmente mais a leste e a nordeste. Na parte inferior do mapa, as concentrações de maiores espessuras são controladas estruturalmente, o que já não ocorre na parte superior. Desta forma, observam-se: duas falhas na região central-sudoeste limitando maior deposição da US5 entre elas, sendo a mais a oeste NNW-SSE e a mais a leste N-S; uma falha N-S no centro-sul, com maior deposição para oeste; e uma falha menor N-S a sudeste, com maior deposição a oeste. Por fim, de maneira geral, a US5 apresenta dois depocentros principais, regiões mais arroxeadas no mapa: um a centro-oeste e outro a sudeste.

Figura 52 - Mapa da superfície de topo da US5.

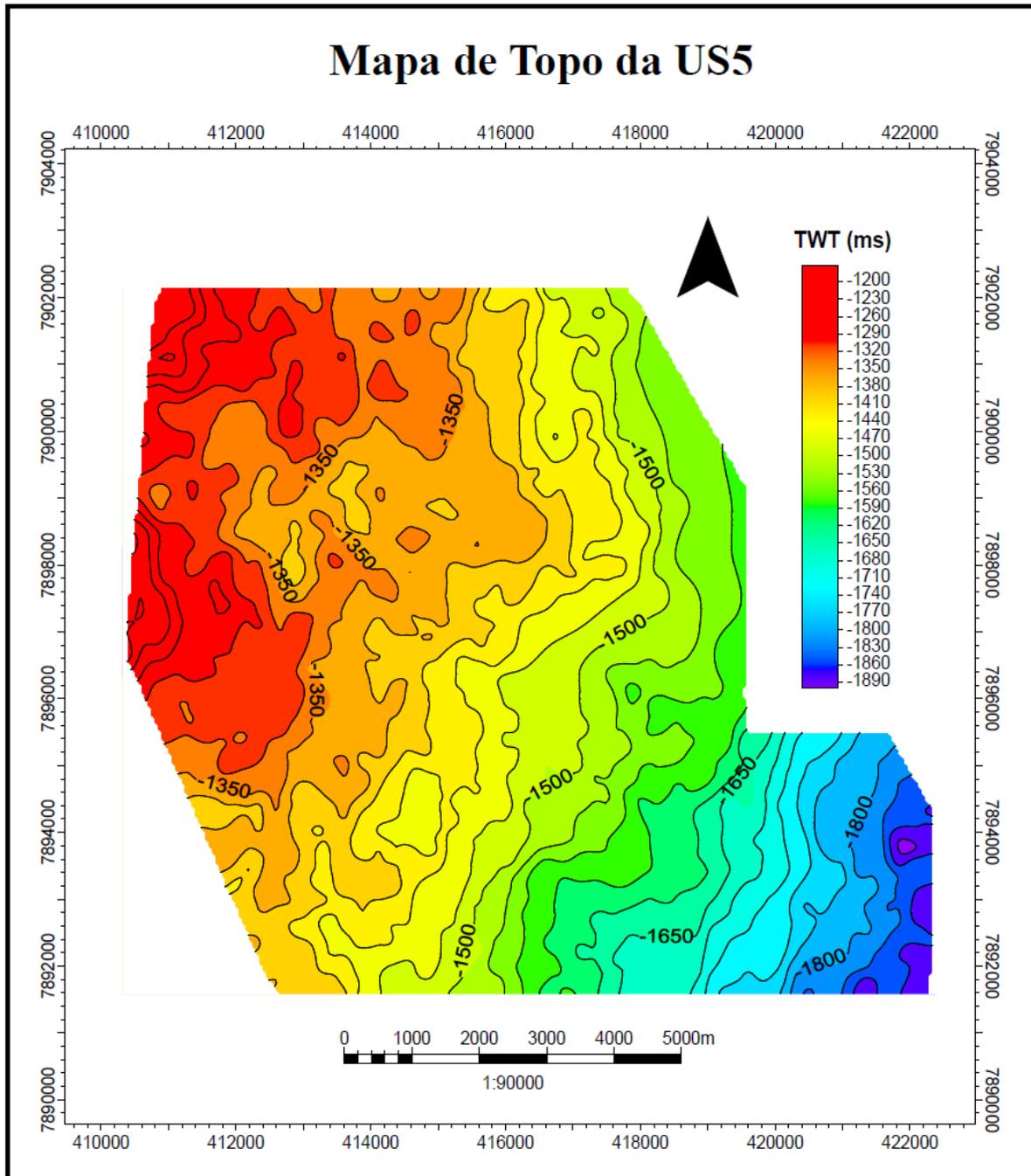


Figura 53 - Mapa de isócronas da US5.

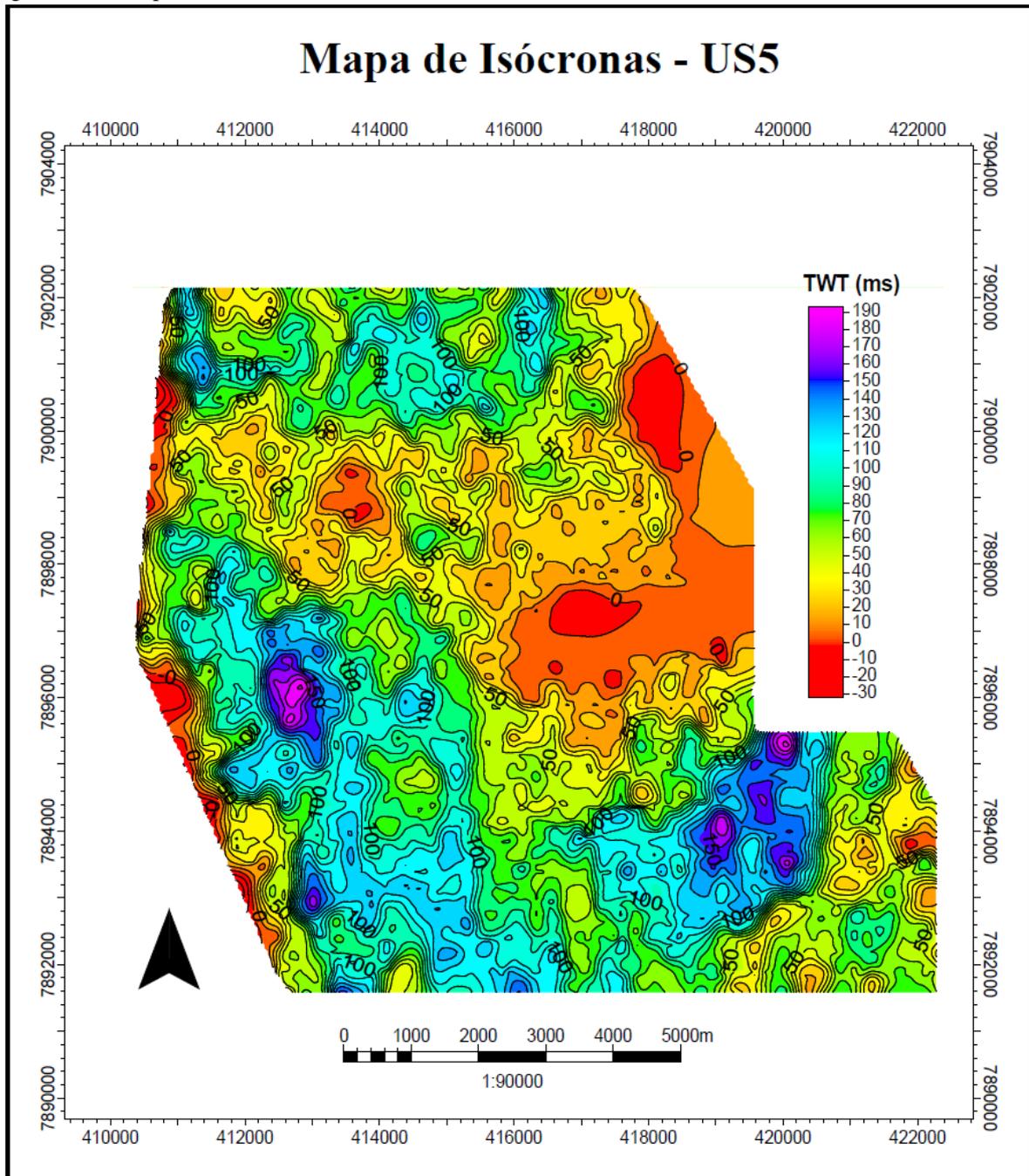
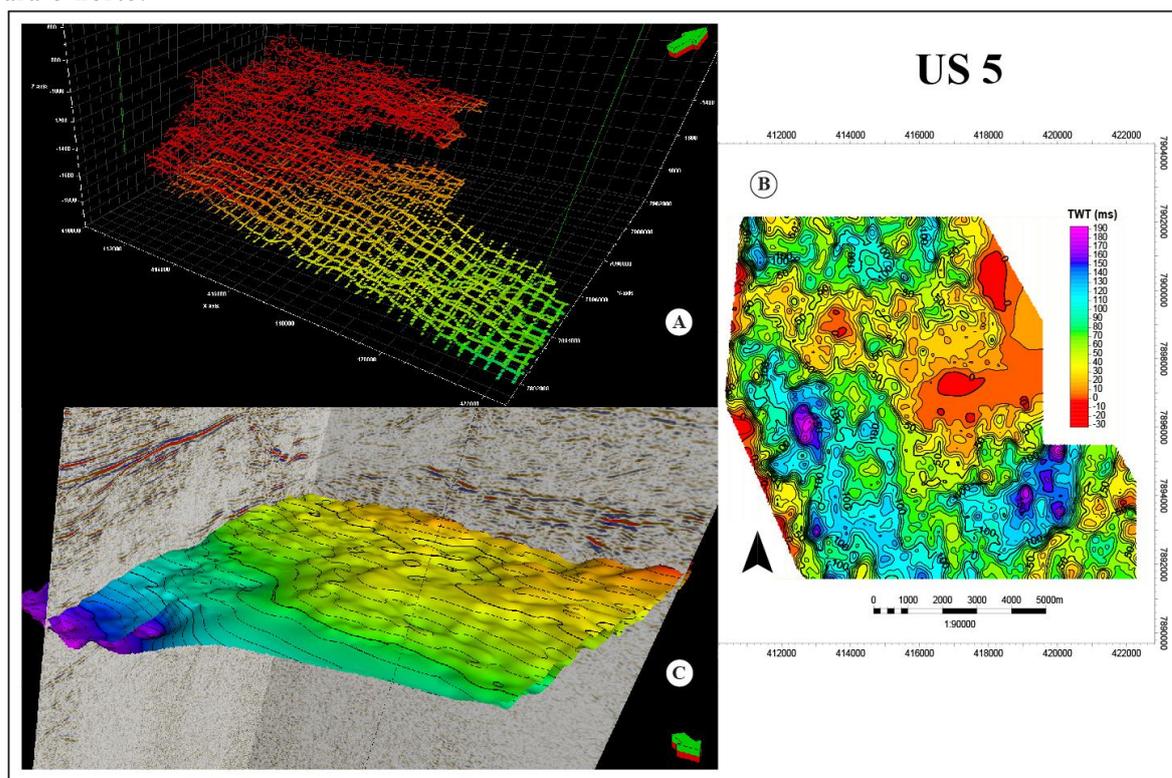


Figura 54 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US5 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US5; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US5, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções *dip* e *strike*. A seta verde indica para o norte.



6.2.6 Unidade Sismoestratigráfica 6 (US6)

Comparativamente a US5, a US6 contém distribuição bastante similar a ela, contudo se manifesta ligeiramente menos a sudoeste e mais a nordeste do volume sísmico Fazenda Cedro. Por ser a unidade, mais nova, a US6 (Figura 55) apresenta as menores profundidades sísmicas em seu topo, variando de -1110 ms a noroeste a por volta de -1800 ms a sudeste. Logo, a profundidade do topo aumenta de forma gradual na direção NW-SE, sendo mais atenuado a norte e mais inclinado a sul.

No mapa de isócronas da US6 (Figura 56), chama bastante atenção a concentração de picos de espessura na sua porção nordeste, onde os valores são predominantemente maiores que 150 ms e atingem até 180 ms. Espessuras acima de 130 ms são predominantes apenas nas partes nordeste e noroeste da unidade, enquanto que o mapa, como um todo, apresenta por volta de 70 ms de espessura em média. As regiões marginais a oeste, a sul e a sudeste apresentam as menores espessuras, 20 ms em média e com um *range* de 50 a 0 ms do centro para fora do

volume sísmico. Duas falhas pequenas de direção N-S estão dispostas a nordeste da US6, ambas com deposição maior para o leste, exercendo controle deposicional no depocentro principal da unidade. Por fim, a ocorrência de uma anomalia de adelgaçamento da unidade - localizada na parte centro-norte - chega a mostrar valor negativo de espessura, o que pode indicar processos erosivos associados aos movimentos halocinéticos da unidade Membro Itaúnas sobreposta à US6.

Figura 55 - Mapa da superfície de topo da US6.

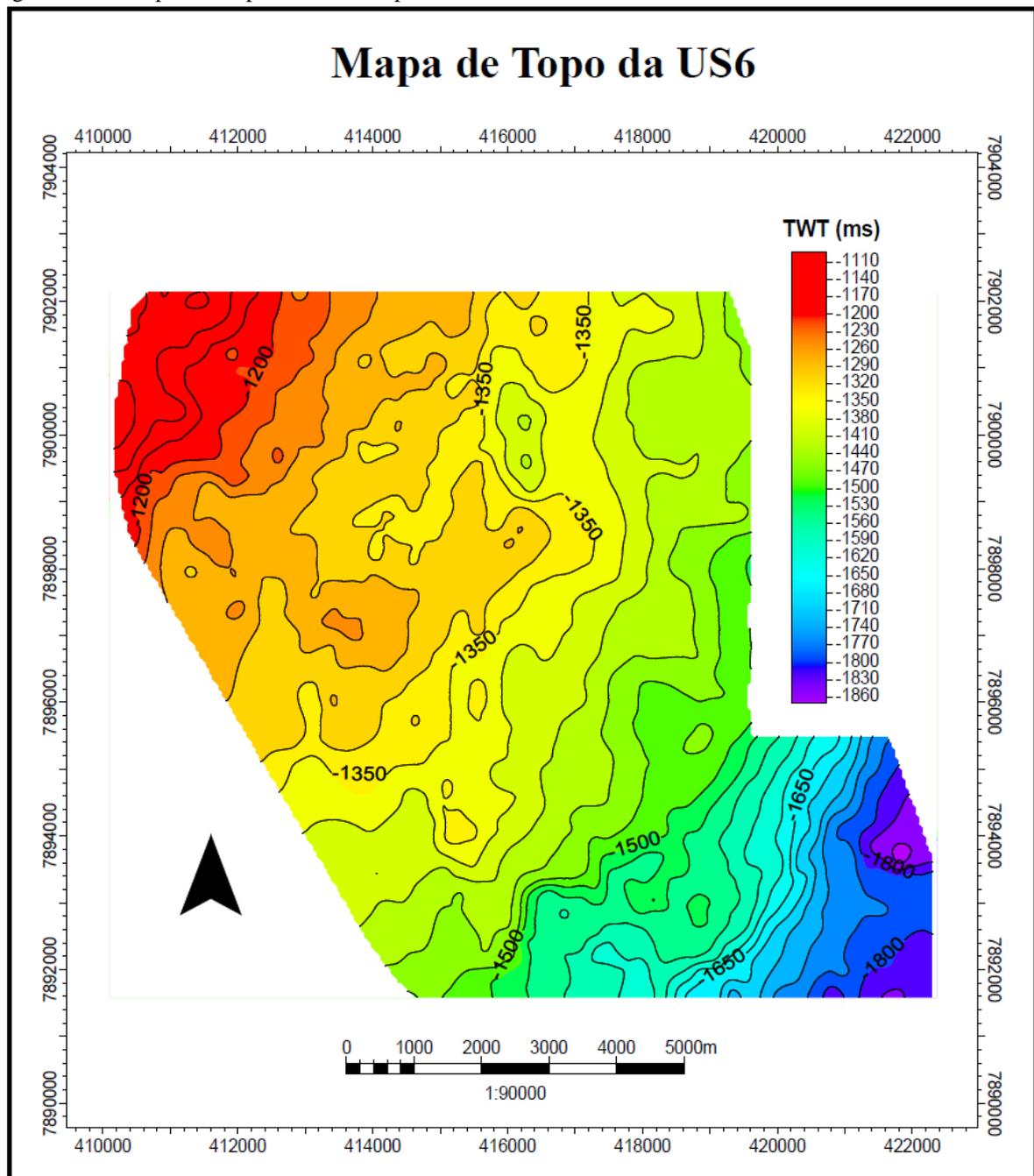


Figura 56 - Mapa de isócronas da US6.

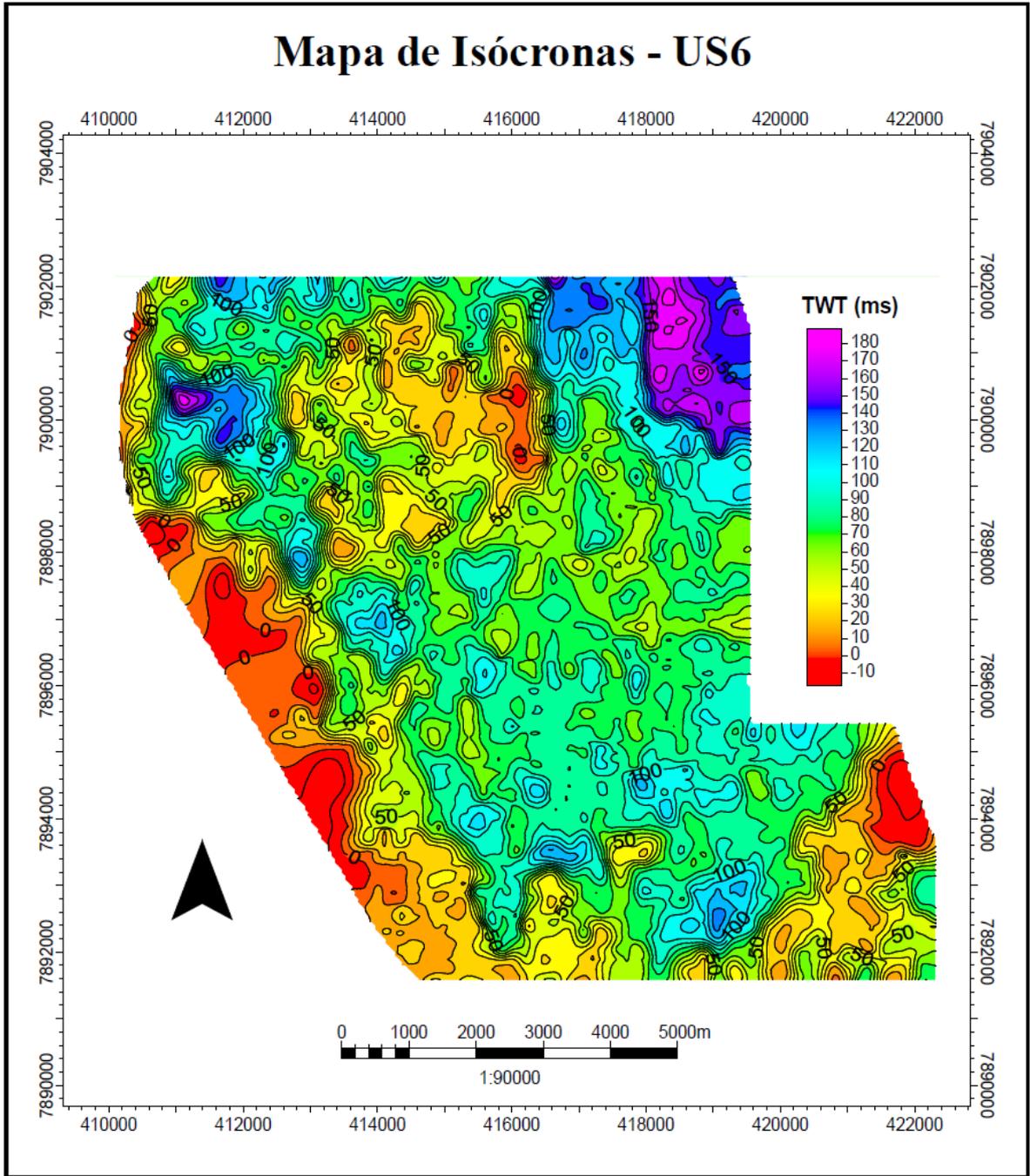
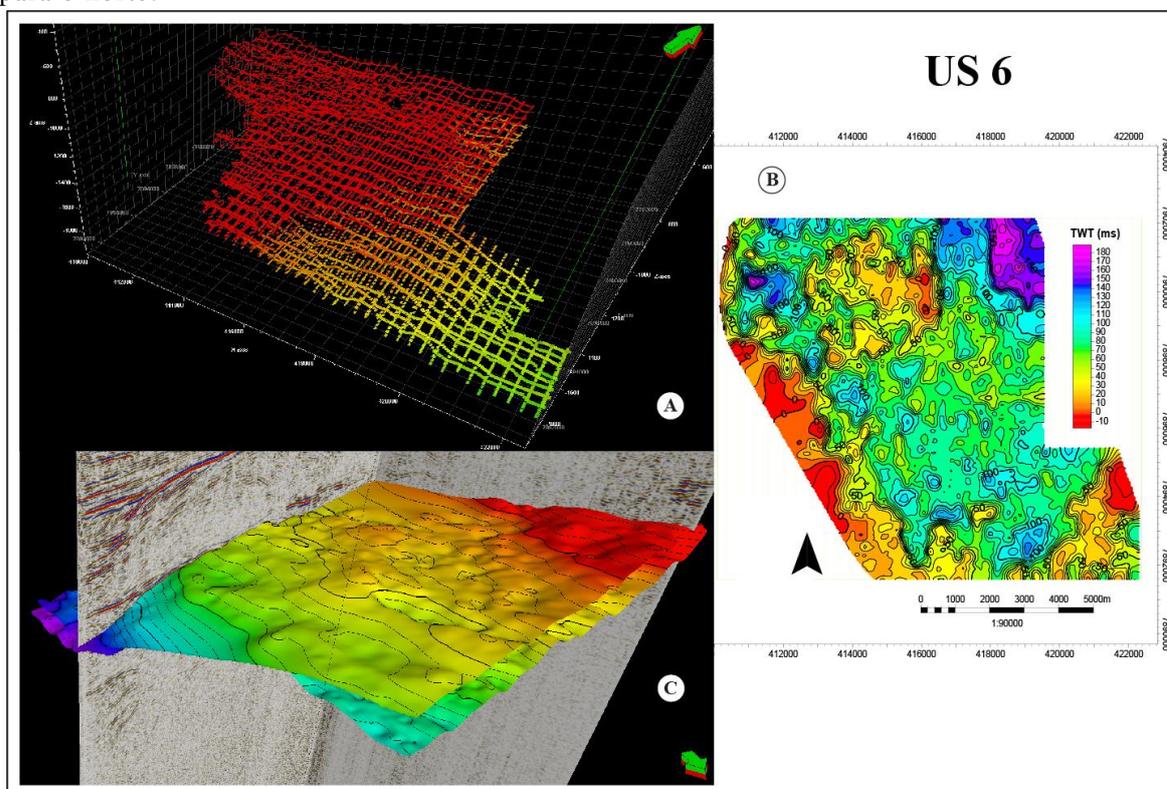


Figura 57 - (A) Visualização em 3D do mapeamento da US6 ao longo de todo o volume sísmico Fazenda Cedro; (B) mapa de isócronas da US6; e (C) vista em 3D das superfícies de topo e base da US6, geradas por interpolação, sendo cortadas por seções *dip* e *strike*. A seta verde indica para o norte.



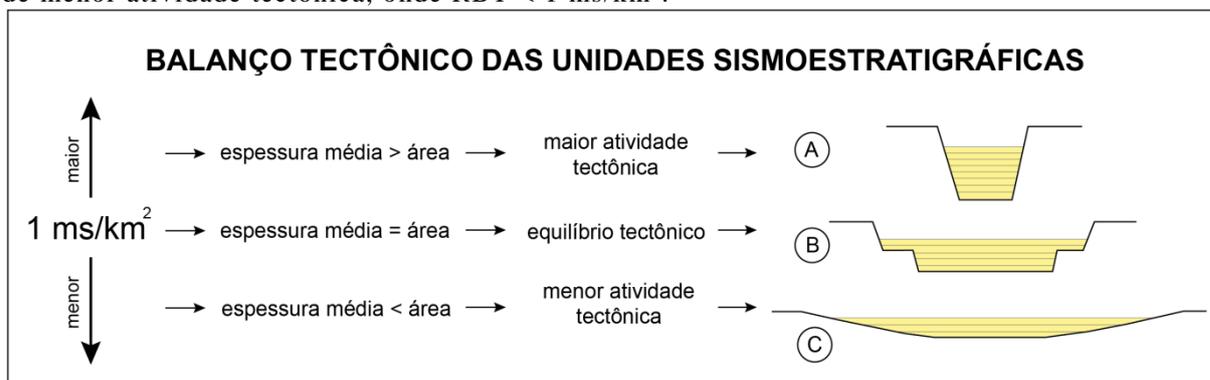
6.3 Controle Depositional das Unidades Sismoestratigráficas

Analisando os mapas de isócronas gerados para as unidades sismoestratigráficas do Mb. Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro, variações de espessura e de área de deposição para cada unidade foram observadas. As mudanças de espessura média das US estão intrinsecamente ligadas à variação da taxa de criação de espaço de acomodação, considerando um aporte sedimentar constante. É importante citar que a taxa de criação de espaço deposicional depende da variação relativa do nível do mar, portanto do balanço tectônico somado à eustasia. O registro deposicional é resultado da preservação do espaço criado que foi preenchido.

Levando em consideração a área deposicional e a espessura média de cada US (dados gerados), a Figura 58 mostra que a razão entre espessura média de uma unidade sismoestratigráfica pela sua área está relacionada ao grau de controle tectônico a que ela é submetida, a qual é chamada de Razão de Balanço Tectônico (RBT) neste trabalho. Valores

maiores que 1 ms/km^2 de RBT indicam que o espaço de acomodação era restrito a calhas deposicionais controladas por falhas, resultando em maiores espessuras médias de deposição em áreas menores, devido a uma maior atividade tectônica. Analogamente, valores de RBT menores que 1 ms/km^2 remetem a um período de menor atividade tectônica, onde houve sedimentação mais espalhada, de menor espessura média, cobrindo uma maior área, sem calhas limitando a deposição. Quando a RBT é igual a 1 ms/km^2 , tem-se um equilíbrio tectônico, ou seja, a equivalência da espessura média à área sugere que houve um período de ajuste da deposição ao espaço de acomodação criado. Sinteticamente, na Figura 58A, a deposição é restrita a uma calha estreita para $\text{RBT} > 1 \text{ ms/km}^2$ - ou seja, há uma maior espessura de sedimentos em relação à área - na Figura 58B, equilibrada, preenchendo uma calha mais larga para RBT igual a 1 ms/km^2 (balanço entre área deposicional e espessura), e, na Figura 58C, está bem distribuída numa área quase aplainada com mínimo controle tectônico atuante para $\text{RBT} < 1 \text{ ms/km}^2$ (área deposicional maior que a espessura). Cabe aqui apontar que erosões não são consideradas. Desta forma, a espessura trabalhada é considerada a espessura mínima preservada final.

Figura 58 - Modelos idealizados de controle deposicional das unidades sismoestratigráficas, conforme os valores de RBT se distanciam de 1 ms/km^2 . (A) Deposição em condições de maior atividade tectônica, restrita a calhas para $\text{RBT} > 1 \text{ ms/km}^2$. (B) Equilíbrio tectônico com deposição menos controlada por tectonismo para $\text{RBT} = 1 \text{ ms/km}^2$. (C) Deposição em condições de menor atividade tectônica, onde $\text{RBT} < 1 \text{ ms/km}^2$.



A Tabela 1 mostra uma compilação das espessuras máxima e média calculadas para a área de distribuição de cada unidade sismoestratigráfica. A US1 é a menor unidade sismoestratigráfica observada, tanto em área ($46,42 \text{ km}^2$) quanto em espessuras máxima ($180,5 \text{ ms}$) e média ($53,03 \text{ ms}$). A US2 apresenta a maior espessura máxima ($257,28 \text{ ms}$), contudo a US4 atinge quase o mesmo valor de máximo e chama atenção por ter a maior espessura média: enquanto a média de espessura da US2 fica no entorno de 56 ms , a da US4 ultrapassa 75 ms . A US3 não mostra valores que se sobressaiam, sendo a segunda menor unidade em área ($66,44$

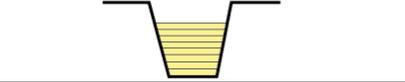
km²), quase equivalente à da US2, alta espessura máxima e média pouco expressiva. A US4, como já foi dito, tem a maior espessura média e a segunda maior máxima (255,78 ms), mas só cobre uma área de 70,48 km². A US5 possui a maior área de deposição (94,94 km²), embora tanto sua espessura máxima quanto média não sejam muito relevantes, comparativamente às outras unidades. A US6 é a segunda maior unidade em área (89,43 km²), possui alta espessura média e baixa máxima.

Verificando os valores de RBT para cada US na Tabela 1, observa-se que a US1 apresenta a maior razão de espessura média por área (1,15 ms/km²), o que sugere que esta unidade apresenta a maior atividade tectônica do Mb. Mucuri no volume sísmico investigado (Figura 58A). Secundariamente, nota-se que a US4 é a segunda unidade com maior influência tectônica na deposição. Visto que a RBT da US4 é de 1,07 ms/km², valor muito próximo do equilíbrio tectônico, esta unidade é representada pela situação vista na Figura 58B. As unidades US2, US3, US5 e US6 têm deposição associada a um contexto de menor atividade tectônica (Figura 58C), com valores de RBT de 0,83, 0,89, 0,7 e 0,77 ms/km² - respectivamente. Desta forma, pode-se agrupar as unidades sismoestratigráficas em tratos tectônicos (TT). Estes tratos tectônicos são definidos conforme os critérios de Prosser (1993), sendo o TT1 equivalente à unidade US1, o TT2 às unidades US2 e US3, o TT3, à US4, e o TT4 às unidades US5 e US6. Os TT1 e TT3 são tratos tectônicos de maior atividade tectônica, representando um primeiro, e maior, pulso tectônico na US1, e um segundo pulso menos expressivo na US4. Os TT2 e TT4 são tratos de menor atividade tectônica, sendo a deposição do TT4 a mais estável tectonicamente. O Quadro 5 mostra uma compilação da sucessão dos tratos tectônicos associados às unidades sismoestratigráficas, graus de controle tectônico e modelos idealizados para cada contexto individual de deposição.

Tabela 1. Valores de área, espessuras máxima e média, e razão entre espessura média e área (RBT) para cada unidade sismoestratigráfica.

	ÁREA (km ²)	ESPESSURA MÁX. (ms)	ESPESSURA MÉDIA (ms)	RBT (ms/km ²)
US6	89,43	188,36	69,42	0,77
US5	94,94	193,08	66,48	0,7
US4	70,48	255,78	75,64	1,07
US3	66,44	222,04	59,01	0,89
US2	67,83	257,28	56,05	0,83
US1	46,42	180,5	53,03	1,15

Quadro 5 - Síntese dos tratos tectônicos, com suas unidades sismoestratigráficas associadas, graus de tectonismo e modelos deposicionais simplificados.

Trato Tectônico	Unidades Sismoestratigráficas	Influência Tectônica	Estilo Depositional Idealizado
TT4	US5, US6	baixa	
TT3	US4	média	
TT2	US2, US3	baixa	
TT1	US1	alta	

Integrando os mapas de isócronas gerados para as seis unidades sismoestratigráficas, as falhas identificadas e a divisão do intervalo estudado em quatro tratos tectônicos, tem-se que a deposição do Membro Mucuri no volume sísmico Fazenda Cedro é controlada por calhas N-S herdadas da Fase Rifte da Bacia do Espírito Santo. A intensidade da atividade tectônica observada diminui em direção ao topo, conforme as unidades sismoestratigráficas mais jovens sofrem menor controle da reativação dos grábens da Formação Cricaré, sotoposta. Logo, verifica-se um primeiro pulso tectônico maior no TT1, um período de menor atividade no TT2, outro pulso, menor que o primeiro, no TT3, e uma diminuição da atividade tectônica novamente, no TT4, com menor influência do que o TT2. Por fim, a maior ocorrência de falhas N-S - desde o centro ao leste do cubo sísmico, e de norte a sul - indica um possível controle preferencial das falhas reativadas sobre a migração dos canais fluviais no sentido distal da área analisada.

Por fim, a partir da análise das falhas e cálculos que mensuram o controle deposicional gerado por algum grau de tectonismo, tem-se que o Membro Mucuri - classicamente definido como Fase Transicional (VIEIRA et al., 1994) - não faz parte de um depósito de margem passiva nem possui estruturas da fase rifte plena. Assim, embora o Mb. Mucuri apresente uma atividade tectônica relativamente menor que da fase rifte inferior – Fm. Cricaré (depositada em calhas tectônicas) - é possível determinar controles tectônicos sobre a sua sedimentação, ainda que incipientes. Portanto, pode-se caracterizar o Membro Mucuri como um estágio sag da Bacia do Espírito Santo, onde há mudança na subsidência de mecânica para térmica. Segundo Allen e Allen (2013), a fase sag envolve resfriamento da crosta continental com relaxamento térmico, assentada sobre uma litosfera continental intacta a levemente adelgada.

7. CONCLUSÕES

Esta monografia objetivou compreender a evolução deposicional do Membro Mucuri - Aptiano da Bacia do Espírito Santo - no cubo sísmico Fazenda Cedro, localizado no centro-leste da porção *onshore* da bacia. Uma vez mapeados topo e base do Mb. Mucuri, foi aplicada a metodologia de análise sismoestratigráfica sistemática, baseada em Mitchum e Vail (1977), a três linhas sísmicas *dip* e duas *strike*, com as seguintes etapas sequenciais: (1) interpretação completa de refletores e suas terminações; (2) reconhecimento de unidades sismoestratigráficas; (3) identificação de sismofácies; e (4) confecção de diagramas cronoestratigráficos, apenas para as linhas *dip*. O mapeamento sísmico feito a seguir foi uma resultante dessa análise sismoestratigráfica, onde as unidades sismoestratigráficas (US) observadas nas cinco linhas selecionadas foram estendidas ao longo de todo o cubo sísmico, propiciando a geração de mapas de isócronas e de topo para cada US.

A análise sismoestratigráfica realizada para as cinco linhas sísmicas selecionadas resultou na separação do Mb. Mucuri em seis unidades sismoestratigráficas (US1, US2, US3, US4, US5 e US6), e na distinção de três sismofácies (SF1, SF2 e SF3). Integrando as unidades sismoestratigráficas das seções *dip* e *strike*, a US1 é a menor unidade das seis, de forma que a sua deposição está restrita à porção distal da área de estudo, estando ausente apenas na Seção *Strike* 150 (a oeste), e varrendo quase toda a Seção *Strike* 350 (a leste). A US2 aparece somente no centro da porção proximal do volume sísmico investigado, enquanto que passa a ser ausente no centro e bem desenvolvida ao norte e ao sul distalmente. A US3 ocorre amplamente no centro da área de estudo - diminuindo ao sul no sentido proximal, e aumentando significativamente ao norte e na porção distal. A US4 ocupa boa parte do norte do Fazenda Cedro na sua porção proximal, onde é ausente no centro e no sul, ao passo que expande e preenche o centro e o sul distalmente, tornando-se ausente no norte. A US5 cobre, amplamente, o centro e o sul da parte proximal do cubo sísmico - bem como o norte mais restritamente - contudo diminui consideravelmente, desaparece no norte, e passa a preencher apenas o sul na sua parte distal. A US6 é bem menos expressiva na parte proximal do que na distal da área analisada: proximalmente, esta unidade está localizada no centro e no norte; distalmente, a US6 ocorre de norte a sul, com espessamento significativo para norte. De maneira integrada, a SF1 ocorre apenas ao norte da parte proximal do volume sísmico - onde é a sismofácies menos expressiva, proporcionalmente às outras. A SF1 passa a estar melhor distribuída e em maior volume distalmente, com ocorrência de norte a sul. A SF2 preenche, predominantemente, o

centro e o sul da parte proximal do cubo, expandindo-se significativamente em volume, e ocupando, além do centro e do sul, o norte no sentido distal, onde é a sismofácies dominante. A SF3 tem distribuição similar proximal e distalmente, embora seja, proporcionalmente, menos importante no sentido distal. A partir de três diagramas cronoestratigráficos construídos para as três linhas sísmicas *dip*, as unidades sismoestratigráficas mais velhas sobrepostas por outras mais jovens, constituindo linhas de tempo de episódios deposicionais, com as sismofácies dispostas ao longo deles.

A observação dos produtos da análise sismoestratigráfica levou ao entendimento da evolução deposicional do Membro Mucuri na área de estudo. Visto isto, a sismofácies SF1 é interpretada como a concentração de um sistema fluvial dominado por canais, a SF2 como a concentração de um sistema deltaico dominado por ondas, e a SF3 como dominância de um sistema fluvial dominado por planície de inundação. Assim, a forma como estão dispostos os sistemas costeiros e fluviais nos diagramas cronoestratigráficos aponta para um modelo deposicional com rios alimentando deltas distalmente. Na porção mais proximal do dado sísmico, há poucos canais fluviais, os quais se ramificam e são distribuídos de norte a sul no sentido de deposição preferencial do Membro Mucuri. A SF2 ganha maior volume no sentido distal, onde deltas dominados por ondas são predominantes em relação ao sistema fluvial. Adicionalmente, as sismofácies acabam por definir concentrações de sistemas deposicionais (ou compartimentações internas), contudo, conforme observado em testemunhos descritos, a variabilidade dos sistemas deposicionais é dada em escala subssísmica, o que deriva na complexa interação entre sismofácies encontrada.

No mapeamento sísmico, os mapas gerados mostram que o Membro Mucuri apresenta uma tendência de gradual espessamento no sentido NW-SE (depocentro). De modo geral, falhas N-S são observadas na escala de análise dos mapas de isócronas, as quais são um pouco maiores no centro e menores nas regiões marginais do volume sísmico, controlando localmente a deposição das unidades sismoestratigráficas. O cálculo da área, espessuras máxima e média, e razão de espessura média por área (RBT) de cada unidade sismoestratigráfica mostra que a US1 (RBT > 1 ms/km²) e a US4 (RBT pouco maior que 1 ms/km²) são as unidades com maior atividade tectônica da área, enquanto as unidades US2, US3, US5 e US6 apresentam menor atividade tectônica (RBT < 1 ms/km²). Desta forma, o controle deposicional do Membro Mucuri é dado em quatro tratos tectônicos, sendo o TT1 (US1) e o TT3 (US4) tratos de alta influência tectônica, e o TT2 (US2 e US3) e o TT4 (US5 e US6) de baixa influência tectônica.

Portanto, as falhas N-S identificadas foram interpretadas como calhas remanescentes da Fase Rife da Bacia do Espírito Santo, que exerceram controle na deposição do Membro Mucuri

sendo reativadas por pulsos tectônicos. Baseando-se nos valores de RBT, é notável que - com o afastamento da Fm. Cricaré sotoposta - o grau de influência tectônica na deposição do membro diminui em direção ao topo, uma vez que o pulso tectônico do TT3 tem menos força que o visto no TT1, e o grau reduzido de tectonismo do TT4 é ainda menor do que o observado no TT2.

Apesar do Mb. Mucuri apresentar um controle tectônico menorizado, quando comparado ao rifte pleno da Fm. Cricaré, ainda assim mostra atividades tectônicas que impactam a sedimentação de unidades específicas (US1 e US4). Isto indica que, mesmo não havendo mais uma subsidência plenamente mecânica, o Mb. Mucuri ainda não apresenta um padrão deposicional compatível com uma margem passiva, e sim com uma ampla bacia sag, relacionada aos esforços finais que antecedem a ruptura crustal efetiva e final de uma fase rifte, fase classicamente definida na literatura como Transicional (VIEIRA et al., 1994).

Desta forma, o presente trabalho contribuiu para o desenvolvimento da metodologia sistemática de análise sismoestratigráfica, onde há capacitação da sua aplicação na complexidade da deposição do Membro Mucuri. A ferramenta de análise sísmica, somada ao mapeamento sísmico, portanto, agregou ao estudo do intervalo pré-sal brasileiro, gerando conhecimento e novos desafios quanto à evolução do Aptiano da Bacia do Espírito Santo.

REFERÊNCIAS

ALLEN, P. A.; ALLEN, J. R. Basin analysis: Principles and application to petroleum play assessment. John Wiley & Sons, 2013.

ALVARENGA, R. S. **Análise sismoestratigráfica de bacias rifte: definição de sismofácies e arcabouço tectono-estratigráfico.** Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

ASMUS, H. E.; GOMES, J. B.; PEREIRA, A. C. B. Integração geológica regional da bacia do Espírito Santo. **Relatório Interno, PETROBRAS**, 1971.

ASMUS, H. E.; PORTO, R. Classificação das bacias sedimentares brasileiras segundo a tectônica de placas. In: **Congresso Brasileiro de Geologia**. 1972. p. 67-90.

BROWN, L. F., Fisher, W. L. Seismic-stratigraphic interpretation of depositional systems: examples from Brazilian rift and pull-apart basins. **Payton, C., E., ed., Seismic Stratigraphy-Applications to Hydrocarbon Exploration: AAPG Memoir**, v. 26, p. 213-248. 1977.

CARVALHO, A. S. G. et al. The impact of early diagenesis on the reservoir quality of pre-salt (Aptian) sandstones in the Espírito Santo Basin, Eastern Brazil. **Journal of Petroleum Geology**, v. 37, n. 2, p. 127-141, 2014.

CATUNEANU, O. **Principles of sequence stratigraphy**: Amsterdam. Elsevier, 2006.

CATUNEANU, O. et al. Sequence stratigraphy: methodology and nomenclature. **Newsletters on stratigraphy**, v. 44, n. 3, p. 173-245, 2011.

CHANG, H. K.; KOWSMANN, R. O.; FIGUEIREDO, A. M. F. New concepts on the development of east Brazilian marginal basins: Episodes, v. 2. 1988.

CHANG, H. K. et al. Tectonics and stratigraphy of the East Brazil Rift system: an overview. **Tectonophysics**, v. 213, n. 1-2, p. 97-138, 1992.

DIAS, J. L. Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 13, p. 7-25, 2005.

FRANÇA, R. L. et al. Bacia do Espírito Santo. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 501-509, 2007.

GRADSTEIN, F. M. et al. A Mesozoic time scale. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 99, n. B12, p. 24051-24074, 1994.

KUCHLE, J.; SCHERER, C. M. S. Sismoestratigrafia de bacias rifte: técnicas, métodos e sua aplicação na Bacia do Recôncavo. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 18, n. 2, p. 33-60, 2010.

MILANI, E. J. et al. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 18, n. 3, p. 351-396, 2000.

MITCHUM JR, R. M.; VAIL, P. R.; THOMPSON III, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 2. The depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation. 1977.

MITCHUM JR, R. M.; VAIL, P. R.; SANGREE, J. B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 6. Stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation. 1977.

MITCHUM, R. M.; VAIL, P. R. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 7: seismic stratigraphic interpretation procedure, in Payton, CE, cd., Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration. **American Association of Petroleum Geologists, Memoir**, v. 26, n. 1, p. 977, 1977.

OJEDA, H. A. O. Structural framework, stratigraphy, and evolution of Brazilian marginal basins. **AAPG Bulletin**, v. 66, n. 6, p. 732-749, 1982.

PONTE, F. C.; ASMUS, H. E. Geological framework of the Brazilian continental margin. **Geologische Rundschau**, v. 67, n. 1, p. 201-235, 1978.

POSAMENTIER, H. W.; JERVEY, M. T.; VAIL, P. R. Eustatic controls on clastic deposition I - conceptual framework. 1988.

PROSSER, S. Rift-related linked depositional systems and their seismic expression. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 71, n. 1, p. 35-66, 1993.

RAMIREZ, A. A. et al. Análise sismoestratigráfica da seção rifte da Bacia de Santos, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, 42(3), Porto Alegre, p. 263-280, 2015.

VAIL, P. R.; MITCHUM JR, R. M.; THOMPSON III, S. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 3. Relative changes of sea level from Coastal Onlap: section 2. Application of seismic reflection Configuration to Stratigraphic Interpretation. 1977.

VAIL, P. R.; TODD, R. G.; SANGREE, J. B. Seismic stratigraphy and global changes of sea level: Part 5. Chronostratigraphic significance of seismic reflections: Section 2. Application of seismic reflection configuration to stratigraphic interpretation. 1977.

VAN WAGONER, J. C. et al. An overview of the fundamentals of sequence stratigraphy and key definitions. 1988.

VIEIRA, R. A. B.; COSTA, L. A. R.; ALVES, R. G. Bacias do Espírito Santo e Mucuri estudo geológico e análise exploratória das porções onshore e nearshore. **PETROBRAS/DEXES (Relatório Interno)**. São Mateus-ES. 1992.

VIEIRA, R. A. B. et al. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 8, n. 1, p. 191-202, 1994.

VIEIRA, R. A. B. Análise estratigráfica e evolução paleogeográfica da seção neoptiana na porção sul da Plataforma de São Mateus, Bacia do Espírito Santo, Brasil. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 158p.(inédito). 1998.

WHEELER, H. E. Time-stratigraphy. **AAPG Bulletin**, v. 42, n. 5, p. 1047-1063, 1958.

GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: ANÁLISE SISMOESTRATIGRÁFICA DO VOLUME SÍSMICO 3D FAZENDA CEDRO...
Autor: BÁRBARA ALBUQUERQUE BRAMBAITER
Orientador(es): JULIANO KÜCHLE
Nota final (1 até 10): 10
Examinador: CESAR L. SCHULTZ Data: 19/12/17

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?	X		
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?	X		
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	X		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	X		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)? EXCELENTE!	X		

Página	Correções obrigatórias
45	As informações constantes nessa página sobre o critério de escolha das 5 linhas sísmicas, o critério de definição de topo e base do Mb. Mucuri e o significado de "malha de mapeamento 10 por 10" deveriam ser colocadas já na introdução
RESUMO	"Enxugar" o texto
FIGURAS	Indicar o software na qual foram produzidas (Petrel, etc.)

GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: <i>Análise sismoestratigráfica do volume sísmico 3D da fazenda Zedro...</i>	
Autor: <i>Barbara Albuquerque Bramraiter</i>	
Orientador(es): <i>Juliano Ruchle</i>	
Nota final (1 até 10): <i>9.5</i>	
Examinador: <i>Paulo Alves de Souza</i>	Data: <i>21/12/17</i>

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?			x
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?		x	
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	x		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?	x		
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	x		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	x		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	x		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	x		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?			x
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?	x		

Página	Correções obrigatórias
Título	<i>inserir " (Membro Mucuri)" após "Aptiano".</i>
Resumo	<i>retirar as duas últimas frases e inserir os resultados e conclusões.</i>
Referências	<i>há várias não citadas e algumas nas referências fora do padrão. Revisar.</i>
	<i>[Handwritten signature]</i>

GEO 03015 – PROJETO TEMÁTICO EM GEOLOGIA III

Título da Monografia: Análise Sismoestratigráfica do Volume Sísmico 3D Fazenda Cedro no Intervalo Aptiano da Bacia do Espírito Santo, Membro Mucuri	
Autor: Bárbara Albuquerque Bramraiter	
Orientador(es): Prof. Dr. Juliano Kühle	
Nota final (1 até 10): 9,5	
Examinador: Tais Freitas	Data: 21/12/2017

		Sim	Não	Em parte
1	O título é informativo e reflete o conteúdo da monografia?	X		
2	O resumo do trabalho informa sobre os tópicos essenciais da monografia?			X
3	As ilustrações são úteis e adequadas?	X		
4	O manuscrito apresenta estrutura organizada?			
5	A introdução apresenta os fundamentos para o restante do texto da monografia?	X		
6	Os materiais e métodos são descritos adequadamente?	X		
7	Os resultados são de qualidade e mostrados concisamente?	X		
8	As interpretações e conclusões são baseadas nos dados obtidos?	X		
9	As referências são convenientes e usadas adequadamente?	X		
10	O manuscrito possui boa redação (digitação, ortografia e gramática)?	X		

Página	Correções obrigatórias
	Incluir no Resumo os resultados e conclusão
	As figuras deverão ser reposicionadas, para que acompanhem o texto onde são citadas
	Sugiro reescrever a conclusão de forma mais objetiva.
115	Colocar as citações de autores no texto e lista de Referências de acordo com as normas ABNT