

**O USO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS NA CARACTERIZAÇÃO E  
CORRELAÇÃO DE TURBIDITOS NEOCRETÁDICOS NA PORÇÃO  
LIMÍTROFE ENTRE AS BACIAS DE SERGIPE-ALAGOAS E JACUIPE.**

Gelce Camila Laikovski

Dissertação de Mestrado apresentada  
ao Programa de Pós-graduação em  
Geofísica do Observatório Nacional,  
como parte dos requisitos necessários  
à obtenção do título de Mestre em  
Geofísica.

Orientador: Dr. Emanuele Francesco  
La Terra

Coorientadores: Dra. Ana Cristina  
Meirelles Quintanilha Coelho  
Dr. Gilmar Vital Bueno

Rio de Janeiro  
Dezembro de 2022

"O USO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS NA CARACTERIZAÇÃO E  
CORRELAÇÃO DE TURBIDITOS NEOCRETÁCIOS NA PORÇÃO  
LIMÍTROFE ENTRE AS BACIAS DE SERGIPE-ALAGOAS E JACUIPE"

Gelce Camila Laikovski

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL COMO  
PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE MESTRA EM GEOFÍSICA.


Aprovada por:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Emanuele Franceseo La Terra – (ON) -  
(Orientador)

*Gilmar Vital Bueno*  
\_\_\_\_\_  
Dr. Gilmar Vital Bueno - (UFF)- (Coorientador)

*Ana Cristina M. Quintanilha Coelho*  
\_\_\_\_\_  
Dra. Ana Cristina Quintanilha Coelho - (ON) -  
(Coorientadora)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Leandro Di Bartolo - (ON)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Mário Ferreira de Lima Filho – (UFPE)

Mário Ferreira de Lima Filho  
Doutor em  
Geologia - CTG  
SIAPE: 1133908

RIO DE JANEIRO – BRASIL

20 DE DEZEMBRO DE 2022

Resumo da dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Observatório Nacional como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Geofísica.

O USO DE ATRIBUTOS SÍSMICOS NA CARACTERIZAÇÃO E  
CORRELAÇÃO DE TURBIDITOS NEOCRETÁDICOS NA PORÇÃO  
LIMÍTROFE ENTRE AS BACIAS DE SERGIPE-ALAGOAS E JACUÍPE.

Gelce Camila Laikovski

Dezembro / 2022

Na última década o Brasil experimentou um avanço significativo da exploração petrolífera em águas profundas, com a descoberta de reservatórios turbidíticos na Bacia de Sergipe-Alagoas, em um sistema petrolífero inteiramente originado pós-rifte, e parte dessa descoberta se deu graças ao avanço nas tecnologias geofísicas, como no caso da interpretação sísmica. A bacia de Jacuípe, a sul de Sergipe-Alagoas, entretanto, não dispõe de tamanhos esforços exploratórios. Apesar de diferenças em seus registros pré-rifte, estima-se uma continuidade estratigráfica lateral entre as duas bacias para mega-sequência drifte. O presente trabalho, portanto, propõe uma caracterização do intervalo neocretácico visando a identificação de diferentes sismofácies e a possível ocorrência de depósitos turbidíticos na porção limítrofe entre as bacias de Jacuípe e Sergipe-Alagoas, através da aplicação e avaliação de atributos sísmicos.

Abstract of the dissertation presented to the National Observatory's Graduate program in Geophysics as a partial fulfilment of the requirements for the degree of Master in Geophysics.

THE USE OF SEISMIC ATTRIBUTES FOR THE CHARACTERIZATION AND CORRELATION OF NEOCRETACIC TURBIDITES IN THE LIMITROPHE REGION BETWEEN SERGIPE-ALAGOAS AND JACUÍPE BASINS.

Gelce Camila Laikovski

December / 2022

During the last decade, there has been a significant development of oil and gas exploration in deep water in Brazil, along with the discovery of turbiditic reservoirs in Sergipe-Alagoas basin, as part of an entirely post-rift petroleum system, and the advances of geophysical technologies, particularly seismic interpretation, was mostly responsible for this discovery. On the other hand, Jacuípe Basin, located to the south of Sergipe-Alagoas, has not experienced such exploratory efforts. Besides the depositional difference during the pre-rift stage, there is a lateral stratigraphic continuity between these basins regarding the drift stage. The present work, therefore, proposes to characterize the neocretacic interval focusing on the identification of seismic facies and the possible occurrence of turbiditic deposits in the limitrophe portion between Sergipe-Alagoas and Jacuípe basins through the use and evaluation of seismic attributes.

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>V</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
1.1. OBJETIVOS .....	11
<b>2. CONTEXTO GEOLÓGICO</b> .....	<b>12</b>
2.1. EVOLUÇÃO DA SEQUÊNCIA DRIFTE E CONTEXTO TECTONO-ESTRATIGRÁFICO NEOCRETÁTICO.....	20
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>22</b>
3.1. ATRIBUTOS SÍSMICOS.....	22
3.1.1. <i>Amplitude RMS</i> .....	23
3.1.2. <i>Atributo Pseudo-Relief (TecVA)</i> .....	24
3.1.3. <i>Atributo de Fase Instantânea</i> .....	24
3.1.4. <i>Atributo Cosseno de Fase</i> .....	25
3.2. DEPÓSITOS TURBIDÍDICOS.....	26
3.2.1. <i>Sismoestratigrafia de depósitos turbidíticos</i> .....	33
<b>4. MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA</b> .....	<b>36</b>
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>38</b>
5.1. INTERPRETAÇÃO E COMPARATIVO REGIONAL .....	38
5.2. INTERPRETAÇÃO DO INTERVALO CRETÁCEO SUPERIOR.....	42
5.2.1. <i>Comparativo entre as linhas de Sergipe e Jacuípe</i> .....	53
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	<b>57</b>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	60

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das bacias de Sergipe-Alagoas e Jacuípe. ....	12
Figura 2: Carta estratigráfica da sub-bacia de Sergipe, com evolução estratigráfica (Campos Neto et al., 2007).....	15
Figura 3: carta estratigráfica da sub-bacia de Sergipe, com evolução tectônica (Campos Neto et al., 2007). ....	16
Figura 4: carta estratigráfica da Bacia de Jacuípe (Graddi et al., 2007).....	18
Figura 5: seção esquemática representativa da bacia de Jacuípe (ANP, 2015). .....	19
Figura 6: seção esquemática representativa da porção marítima da Bacia de Sergipe-Alagoas (ANP, 2017). ....	20
Figura 7: Comparativo estratigráfico do período Neocretáceo entre as bacias de Sergipe (A) e Jacuípe (B), evidenciando a ocorrência de pacotes turbidíticos. 21	
Figura 8: comparativo entre dado sísmico original e com aplicação de atributo de amplitude RMS (Coelho, 2017). ....	23
Figura 9: Comparativo entre (a) seção sísmica original e (b) com o filtro pseudo-relief (TecVA) aplicado (Bulhões & Amorim, 2005). ....	24
Figura 10: Relação entre traço sísmico, em azul, e fase instantânea, em vermelho (Barnes, 2016).....	25
Figura 11: Comparativo entre seção sísmica original, com escala de amplitude, e com atributo de fase instantânea, com escala de medida angular da fase (Barnes, 2016).....	25

Figura 12: Comparativo entre sísmica original (esquerda) e com atributo de cosseno de fase (direita). .....	26
Figura 13: Divisão de uma corrente de turbidez. Modificado de Moraes, 2017.	27
Figura 14: Sequência de Bouma e sua interpretação atual (modificado de Posamentier & Walker, 2006).....	28
Figura 15: Modelo de deposição turbidítica para correntes de alta eficiência (extraído de D'Ávila & Paim, 2003).....	29
Figura 16: Tipos de sistemas turbidíticos (extraído de D'Ávila & Paim, 2003).	30
Figura 17: Fácies turbidíticas, segundo Mutti (1992). D'Ávila e Paim (2003), entretanto, não consideram a fácies F1, justificando que esta não se trata de um depósito proveniente de uma corrente de turbidez, uma vez que se apresenta características de um fluxo predominantemente lamoso e sem erosão do substrato (extraída de D'Ávila & Paim, 2003).....	31
Figura 18: Tipos de depósitos turbidíticos, de acordo com sua geometria, proposto por Moraes et al. (2006). A) Complexos de canais discretos; B) Complexos de canais amalgamados e C) Complexos de canais distributários e lobos (extraído de Souza, 2015). .....	32
Figura 19: Principais padrões de terminação de refletores sísmicos (extraído de Severiano Ribeiro, 2001).....	33
Figura 20: Padrões comuns de configuração interna dos refletores (extraído de Severiano Ribeiro, 2001).....	34
Figura 21: Geometria de estratos e superfícies de contato em depósitos turbidíticos de águas profundas (extraído de Normark et al., 1993).....	35
Figura 22: Fluxo de trabalho para realização da pesquisa.....	36
Figura 23: Localização das linhas utilizadas para a realização do trabalho. ....	37

Figura 24: Área de trabalho no software de interpretação OpendTect, evidenciando os horizontes traçados na interpretação regional.....	38
Figura 25: Linha VB00-0019 original e com interpretação regional.....	39
Figura 26: Linha VB00-0200 original e com interpretação regional.....	41
Figura 27: Linha VB00-0182 original e com interpretação regional.....	42
Figura 28: Interpretação do pacote neocretácico na linha VB00-0200. Em azul, a discordância sub-Formação Calumbi, marcando o intervalo onde se encontram os pacotes turbidíticos reservatório, entre o Coniaciano e Maastrichtiano (topo do Cretáceo, em roxo). Os números 1 a 4 indicam as diferentes sismofácies.	44
Figura 29: Aplicação do atributo RMS, onde nota-se as anomalias de amplitude nas fácies 1 e 3. Em tracejado, feição de leque visível na fácies 2.....	46
Figura 30: Atributo pseudo-relief, abrangendo as quatro sismofácies (A) e, em detalhe no destaque da fácies 1, preenchimento de canais e feições erosivas (B e C). .....	47
Figura 31: Atributos cosseno de fase (A), evidenciando a configuração interna dos refletores, e fase instantânea (B), denotando terminação de refletores. ...	48
Figura 32: Detalhes de feições visíveis com o atributo Fase Instantânea. A) intercalação entre camadas com diferentes configurações de refletores, B) preenchimento de feições remobilizadas, e C) leque da fácies 2.....	49
Figura 33: Linha VB00-0182 que corta o limite entre as bacias de Sergipe e Jacuípe, interpretada de acordo com as sismofácies no intervalo Coniaciano-Maastrichtiano. ....	50
Figura 34: Atributo RMS aplicado à linha VB 0182 em Jacuípe (A). Detalhe de canais e feições de corte visíveis na sismofácies 1 (B).....	51



Figura 35: Atributo pseudo-relief evidenciando os preenchimentos de canais da sismofácies 1, bem como terminações em onlap na sismofácies 3 (setas amarelas sobre superfície vermelha). .....	52
Figura 36: Visibilidade da configuração interna dos refletores através da aplicação do atributo cosseno de fase. ....	52
Figura 37: Aplicação do atributo fase instantânea evidenciando feições de corte e preenchimento nas sismofácies 1 e 3 em Jacuípe.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Resumo dos atributos sísmicos aplicados e suas utilidades. ....	43
Tabela 2: Características sísmicas descritivas na definição de sismofácies. ...	45
Tabela 3: Comparativo visual entre as sismofácies 1 na bacia de Sergipe e Jacuípe, em fase normal e utilizando os atributos RMS, pseudo-relief, fase instantânea e cosseno de fase.....	54
Tabela 4: Comparativo visual entre as sismofácies 3 na bacia de Sergipe e Jacuípe, em fase normal e utilizando os atributos RMS, pseudo-relief, fase instantânea e cosseno de fase.....	55
Tabela 5: Comparativo visual entre as sismofácies 4 na bacia de Sergipe e Jacuípe, em fase normal e utilizando os atributos RMS, pseudo-relief, fase instantânea e cosseno de fase.....	56

## 1. INTRODUÇÃO

A busca por novas possibilidades de exploração, em face da alta demanda dos recursos energéticos, constitui um fator relevante de interesse científico, social e econômico para fomentar a pesquisa acadêmica nas bacias sedimentares com potencial petrolífero do país.

Os primeiros esforços exploratórios nas bacias *offshore* do Brasil, entretanto, são relativamente recentes, tendo iniciado há cerca de cinquenta anos (MILANI *et al.*, 2000).

Apesar de o grande interesse econômico ter impulsionado as investigações científicas acerca da gênese e histórico tectônico e estrutural das bacias sedimentares da margem leste brasileira, muitos questionamentos permanecem e outros ressurgem, com novas tecnologias trazendo novas evidências. Um exemplo claro disto, são as recentes descobertas e viabilização exploratória em águas profundas e no pré-sal brasileiro.

Neste contexto, observa-se que a Bacia do Jacuípe fora inicialmente investigada a partir da década de 70, com as primeiras aquisições sísmicas, e na década de 80 teve seu único poço perfurado, assim como as primeiras aquisições gravimétricas e magnetométricas. Seus primeiros resultados foram publicados na década de 90, em trabalhos como Mohriak & Rabelo (1994), Netto *et al.* (1994), Wanderley Filho & Graddi (1995) e Mohriak *et al.* (1998) e, diante da ausência das rochas geradoras da fase pré-rifte, já conhecidas em bacias circunjacentes, e de evidências que a tornariam economicamente explorável, a Bacia de Jacuípe teve uma considerável redução de levantamentos nos anos seguintes.

Embora o conhecimento científico das bacias da margem leste tenha avançado consideravelmente nas últimas três décadas, a Bacia de Jacuípe ainda permanece pouco explorada, se comparada às demais bacias, e por este motivo, é considerada por ANP (2015) uma bacia de nova fronteira exploratória

e vem reunindo esforços recentes para ampliar o conhecimento sobre sua evolução, estrutura e possível viabilidade econômica.

Diante das recentes descobertas de sistemas petrolíferos em águas profundas na Bacia de Sergipe em rochas da fase drifte, tendo turbiditos depositados a partir no Neocretáceo como rochas-reservatório, faz-se de suma importância a realização de novas análises geofísicas, em especial na porção norte da Bacia de Jacuípe, uma vez que o próprio limite entre as duas bacias ainda é discutido. Neste sentido, este trabalho terá como foco a região limítrofe entre as bacias de Jacuípe e Sergipe-Alagoas, buscando observar sua continuidade lateral bem como efetuar uma caracterização dos turbiditos neocretácicos, através da interpretação sísmica.

O método sísmico de reflexão tem sido amplamente utilizado na indústria de óleo e gás para buscar informações da subsuperfície. Neste sentido, a utilização de atributos sísmicos serve como uma importante ferramenta para a melhor visualização de determinado alvo. Os atributos realçam parâmetros físicos, contribuindo para a interpretação litológica e caracterização de reservatórios (Taner, 2001). Neste trabalho, são aplicados diferentes atributos na interpretação do intervalo Neocretáceo em Sergipe e Jacuípe, afim de caracterizar e correlacionar as sismofácies e possíveis depósitos turbidíticos com base em suas respostas sísmicas.

### **1.1. Objetivos**

Este trabalho tem como intuito investigar a continuidade estratigráfica dos pacotes turbidíticos depositados a partir do Neocretáceo, na porção limítrofe entre as bacias de Sergipe-Alagoas e Jacuípe, buscando contextualizar a possibilidade da ocorrência de reservatórios em Jacuípe, analogamente aos descobertos em águas profundas em Sergipe-Alagoas.

Para tal têm-se como objetivos específicos, interpretar as sismofácies dos horizontes neocretácicos, e avaliar a aplicação de diferentes atributos sísmicos da delimitação e caracterização dos depósitos turbidíticos.

## 2. CONTEXTO GEOLÓGICO

As bacias de Sergipe-Alagoas e Jacuípe fazem parte do conjunto de bacias sedimentares da margem leste brasileira, cujo contexto é de tectônica distensiva, originada com a ruptura e separação do paleocontinente Gondwana, a partir do Triássico (MILANI *et al.*, 2000, 2007) e estão localizadas na região Nordeste da costa brasileira, abrangendo o norte do Estado da Bahia (Jacuípe) e os Estados de Sergipe e Alagoas, cujas sub-bacias são homônimas aos referidos Estados (Fig. 1). Seus limites geológicos são o Alto de Maragogi, dividindo as bacias Sergipe-Alagoas e Pernambuco-Paraíba e, a Sul, o sistema de falhas de transferência Itapuã (NETTO *et al.*, 1994; NUNES, 2018) separa a bacia de Jacuípe de Camamu-Almada.

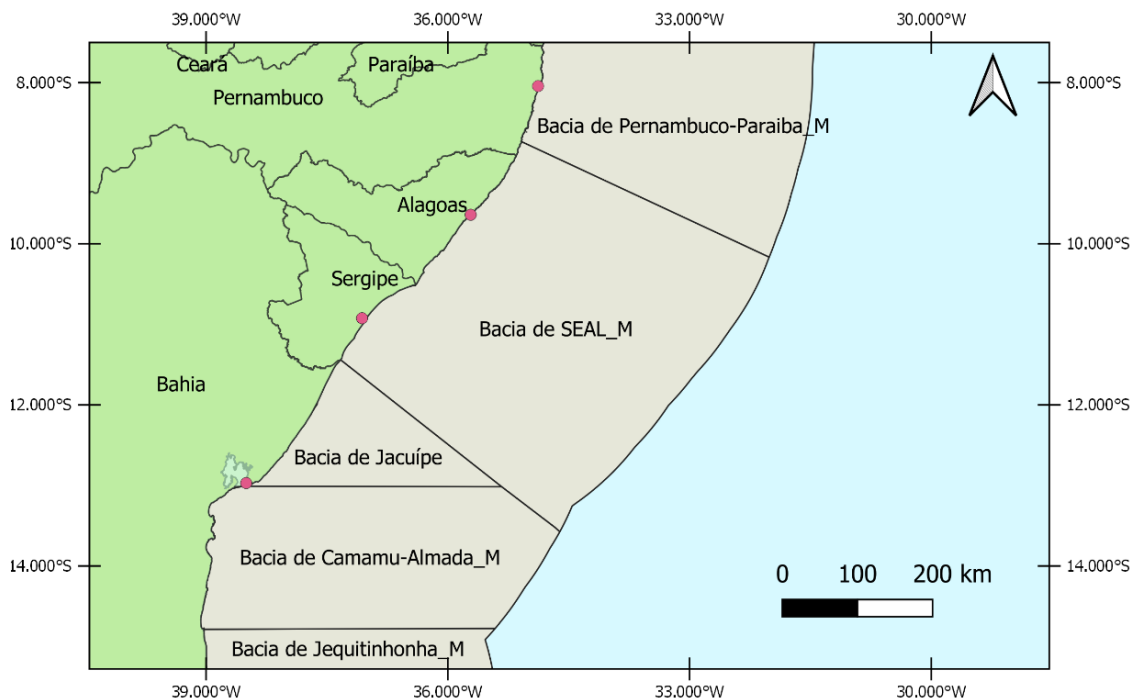


Figura 1: Localização das bacias de Sergipe-Alagoas e Jacuípe (Imagem da autora).

O limite entre as bacias de Jacuípe e Sergipe-Alagoas é interpretado de diferentes formas, sendo o sistema de falhas Vaza-Barris empregado por autores como Netto *et al.* (1994), Mohriak (2003) e Gordon *et al.* (2017). Souza-Lima *et al.* (2002) e Campelo (2005) ainda sugerem que a Bacia de Jacuípe seja incorporada como sub-bacia junto a bacia Sergipe-Alagoas, devido a

continuidade estratigráfica regional, sem um limite geológico marcante. Para fins exploratórios, a ANP (2015, 2019), em suas rodadas de licitações, considera o limite geográfico entre os Estados da Bahia e Sergipe, assim como o fez Graddi *et al.* (2007) na elaboração da carta estratigráfica da bacia.

A evolução e decorrer do processo de abertura do Oceano Atlântico é dividido em quatro diferentes estágios (PONTE & ASMUS, 1978; ASMUS & BAISCH, 1983), de acordo com suas características deposicionais e de ambiente tectônico, sendo estes: Pré-rifte, Rifte, Proto-Oceânico ou Transicional e Oceânico ou Drifte. A Bacia de Sergipe-Alagoas possui o registro sedimentar completo, apresentando sedimentação de todos os estágios evolutivos do processo de rifteamento e abertura do oceano, além de também possuir registro anterior aos primeiros reflexos da abertura continental, fase referida como Sinéclise Paleozóica (CAMPOS NETO *et al.*, 2007).

A Bacia de Sergipe-Alagoas é composta por duas sub-bacias – Sergipe e Alagoas – que apresentam algumas características distintas, relacionadas ao registro evolutivo e sedimentar e, embora Campos Neto *et al.* (2007) admitam que não há algum limite geológico marcante, elaboraram ainda assim duas cartas estratigráficas separadamente. As Figuras 2 e 3 mostram a carta referente a porção meridional da bacia, referente a sub-bacia de Sergipe.

Nesta porção da Bacia, o embasamento é formado por rochas metamórficas proterozóicas da Faixa Sergipana e metassedimentos do Grupo Estância, de idade Cambriana. A fase de sinéclise intracratônica paleozoica compreende as formações Batinga e Aracaré, de idade permo-carbonífera. A partir do Neojurássico, inicia-se a sedimentação relacionada ao processo de rifteamento continental, com a Sequência Pré-Rifte, representada por arenitos da Formação Candeeiro, folhelhos lacustres da Formação Bananeiras e arenitos da Formação Serraria. A Sequência Rifte tem início no Berriasiano, quando se depositaram folhelhos e arenitos lacustres da Formação Feliz Deserto, que são sobrepostos pelos folhelhos da Formação Barra de Itiúba e, num padrão gradacional lateral, arenitos da Formação Penedo e conglomerados da

Formação Poção (ou Rio Pitanga, em Alagoas). Ainda nesta sequência, são depositados os carbonatos do Membro Morro dos Chaves, a Formação Coqueiro Seco, representada por sedimentos clásticos de ambiente flúvio-deltaico e os arenitos e folhelhos da Formação Maceió.

A partir da Sequência Transicional, no Neoptiano, tem-se as primeiras incursões marinhas, marcadas pela deposição de carbonatos, evaporitos e folhelhos, assim como sedimentos siliciclásticos grossos e calcilutitos, pertencentes a Formação Muribeca. Com a abertura efetiva do Oceano Atlântico, o Estágio Drifte é caracterizado por uma sedimentação de ambiente marinho, com predominância de carbonatos das formações Riachuelo e Cotinguiba na porção basal, de transgressão marinha, e de clásticos na porção superior, de regressão marinha, que é representada por arenitos da Formação Marituba, carbonatos da Formação Mosqueiro e folhelhos e arenitos turbidíticos da Formação Calumbi.

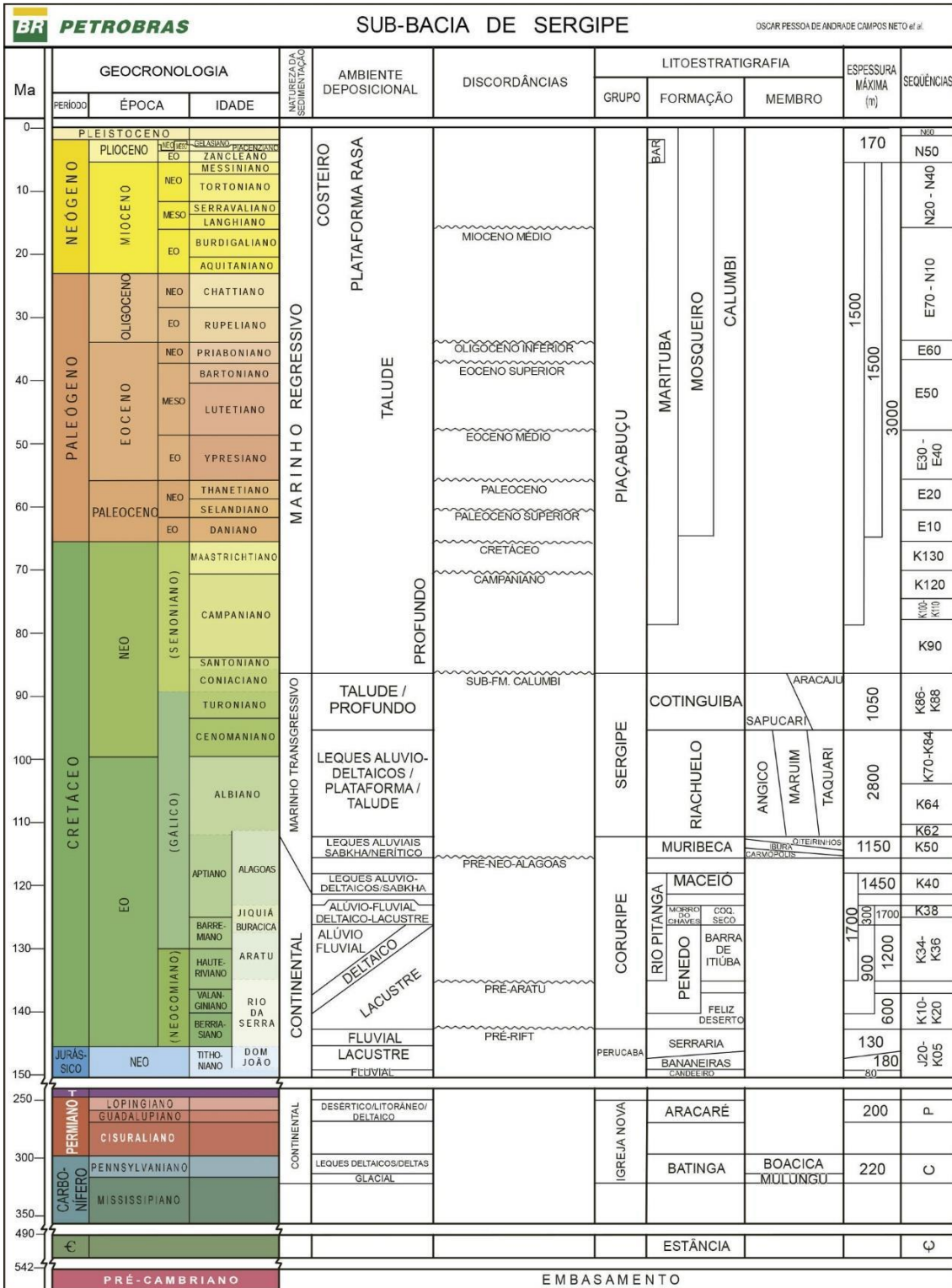


Figura 2: Carta estratigráfica da sub-bacia de Sergipe, com evolução estratigráfica (Campos Neto et al., 2007).



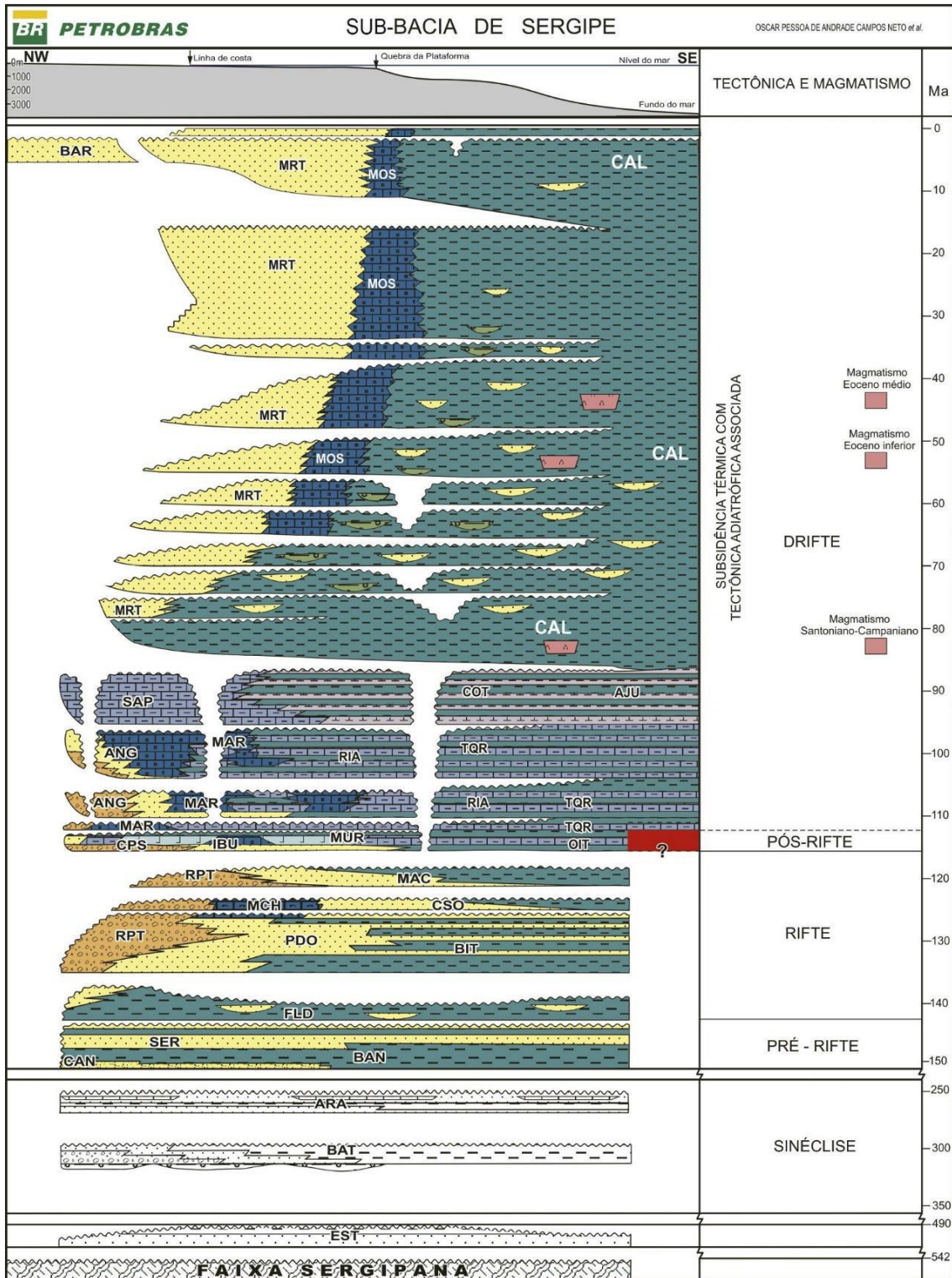


Figura 3: carta estratigráfica da sub-bacia de Sergipe, com evolução tectônica (Campos Neto et al., 2007).

A origem e evolução tectonoestratigráfica da Bacia do Jacuípe difere-se parcialmente de Sergipe-Alagoas pois é associada a um paleo-alto estrutural anteriormente instalado entre as bacias do Recôncavo e do Gabão (WANDERLEY FILHO & GRADDI, 1995), possuindo registro sedimentar a partir do Hauteriviano, com a separação dos continentes e posterior abertura do Atlântico (Fig. 4). Atualmente, dois domínios tectônicos principais são reconhecidos nesta bacia, o primeiro é representado pela plataforma de Jacuípe, marcado por uma série de grábens rasos, e limita-se com o segundo domínio através da falha principal com direção N-NE que perfaz a atual quebra do talude continental (WANDERLEY FILHO & GRADDI, 1995; MOHRIAK *et al.*, 1998).

O embasamento da Bacia de Jacuípe é composto por rochas metamórficas da Província de São Francisco e seu registro sedimentar tem início já na fase rifte, com a deposição de rochas siliciclásticas da Formação Rio de Contas e da porção inferior da Formação Taipus-Mirim. A discordância Pré-Neo-Alagoas separa este pacote da porção superior da mesma formação, que é depositada na fase transicional, marcada pelo início da subsidência térmica. Além das rochas siliciclásticas, há também a ocorrência de evaporitos de mar restrito nesta fase.

A Sequência drifte ocorre a partir do Albiano, com a deposição de carbonatos e folhelhos da Formação Algodões, que são sobrepostos pelos folhelhos e arenitos turbidíticos da Formação Urucutuca. A partir do Neo-Oligoceno uma plataforma estreita é instalada na bacia e ocorre a deposição dos carbonatos da Formação Caravelas e arenitos da Formação Rio-Doce.

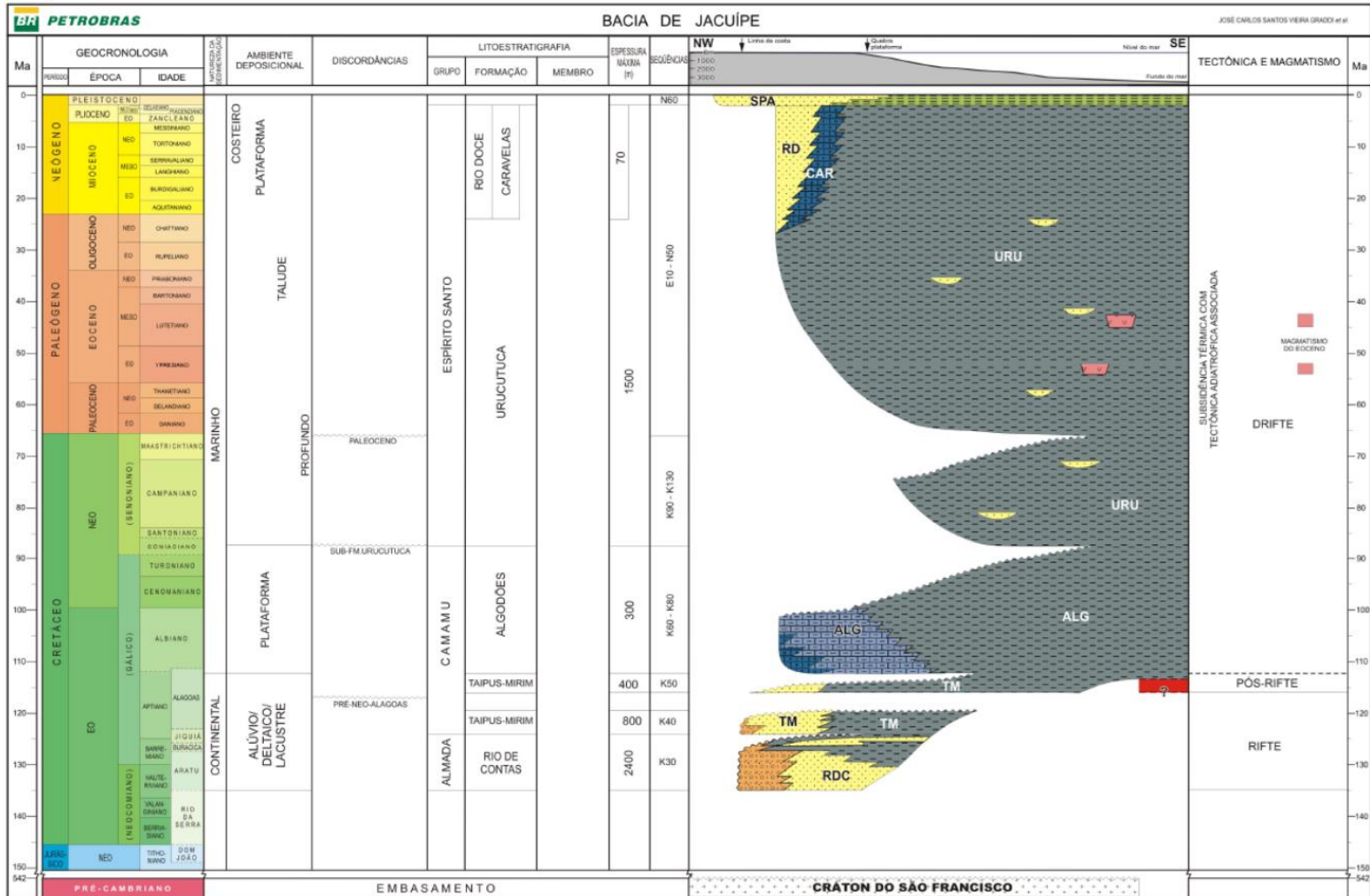


Figura 4: carta estratigráfica da Bacia de Jacuípe (Graddi et al., 2007).

Estruturalmente, a área de estudo é caracterizada por uma série de falhas normais e lístricas de direção preferencial NE-SW e N-S. Basetto *et al.* (1998) observam que as falhas mestras em Jacuípe atingem profundidades crustais próximas da *Moho*, rotacionando severamente os blocos rifte, que sofreram posterior erosão. Neste mesmo trabalho, os autores verificam um rápido afinamento crustal, assim como a ocorrência de refletores mergulhantes a leste, interpretados como *Seaward-dipping Reflectors* (SDRs), que marcam um limite entre a crosta continental e oceânica relativamente próximo da borda da plataforma continental (Fig. 5). Os SDRs também foram verificados em Sergipe-Alagoas por Mohriak *et al.* (1998), como mostra a seção esquemática representativa na Figura 6.

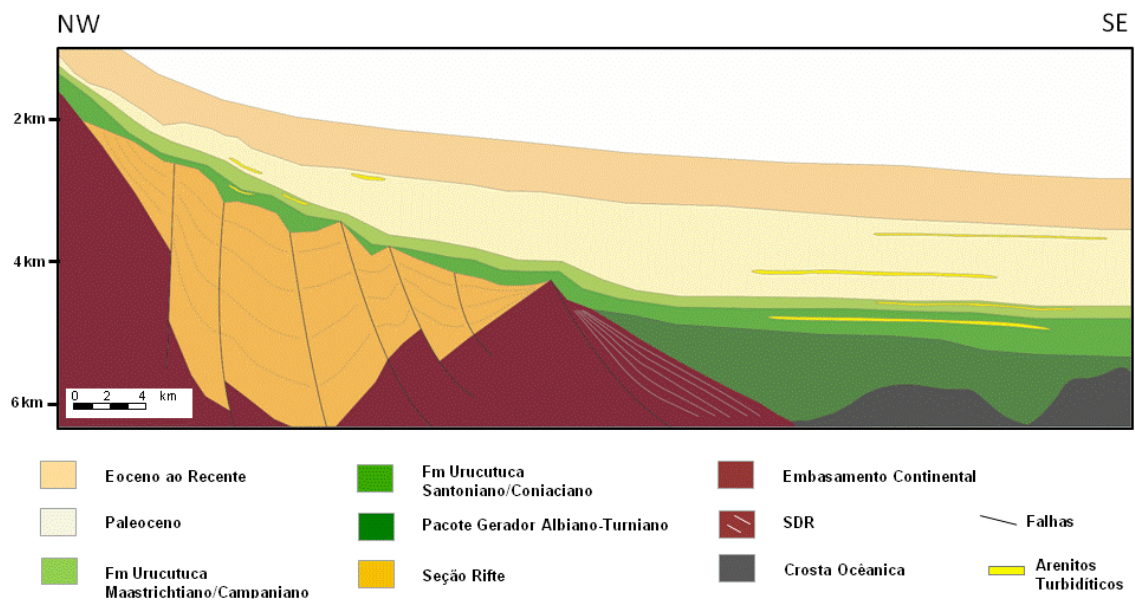


Figura 5: seção esquemática representativa da bacia de Jacuípe (ANP, 2015).

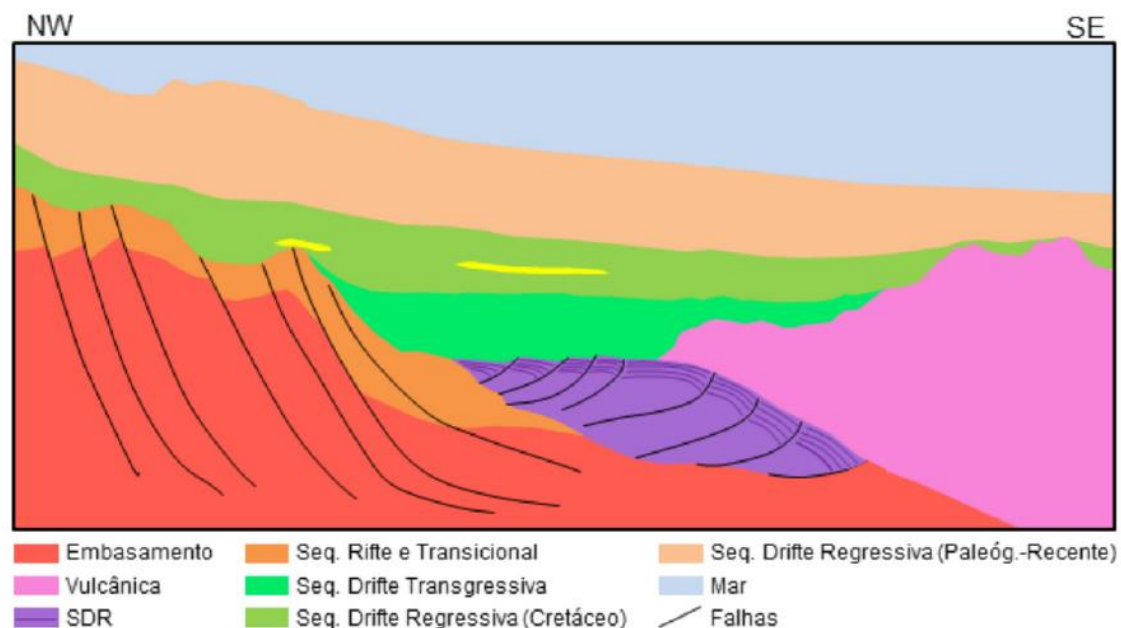


Figura 6: seção esquemática representativa da porção marítima da Bacia de Sergipe-Alagoas (ANP, 2017).

## 2.1. Evolução da Sequência Drifte e contexto tectono-estratigráfico Neocretático

A Sequência Drifte nas bacias da margem leste brasileira marca o início da deriva continental e tem seu registro a partir do Albiano até os dias atuais, sendo caracterizada pelo resfriamento crustal e subsidência térmica. Neste estágio tem-se a deposição da sequência marinha, com rochas siliciclásticas e carbonáticas.

Ponte *et al.* (1978) subdividem a Sequência Drifte em três subsequências, de acordo com o ambiente deposicional e natureza da sedimentação: carbonática, com ocorrência do Albiano ao Santoniano, transgressiva, do Campaniano-Maastrichtiano ao Paleoceno, e regressiva ou progradante, do Paleoceno ao presente. Ojeda (1982) subdivide em dois estágios, o primeiro do Albiano ao Cenomaniano, marcado pela deposição de carbonatos, e do Campaniano ao recente, com sedimentação siliciclástica e carbonática, variando de acordo com a natureza do nível do mar, em padrões transgressivo e regressivo.

Nas referidas cartas estratigráficas atuais (CAMPOS NETO *et al.*, 2007; GRADDI *et al.*, 2007), os autores consideram a divisão em estágios marinho transgressivo e regressivo. Na carta de Sergipe (Fig. 2 e Fig. 3), observa-se que os canais turbidíticos tornam-se mais expressivos a partir do Campaniano, quando ocorre uma progradação sedimentar com a regressão marinha.

A litoestratigrafia da fase drifte na região de estudo é dividida em dois grupos - Sergipe e Piaçabuçu, na sub-bacia de Sergipe e Camamu e Espírito Santo, em Jacuípe. Esta divisão se dá de acordo com natureza de transgressão ou regressão marinha, separadas por uma discordância erosiva regional, de idade Coniaciana-Santoniana, denominada de discordância sub-formação Calumbi, em Sergipe, e sub-formação Urucutuca, em Jacuípe.

Os turbiditos Neocretácicos tem sua ocorrência associada ao evento de regressão marinha, que se inicia no Coniaciano e segue este padrão até os dias atuais. Na sub-bacia de Sergipe, está incluso na Formação Calumbi que, em Jacuípe, tem como análoga a Formação Urucutuca, pertencentes aos grupos Piaçabuçu e Espírito Santo, respectivamente (Fig. 7). Os canais turbidíticos ocorrem em meio a deposição predominante de folhelhos e eventuais registros de magmatismo, sendo admitidas por ANP (2017) como rochas-reservatório.

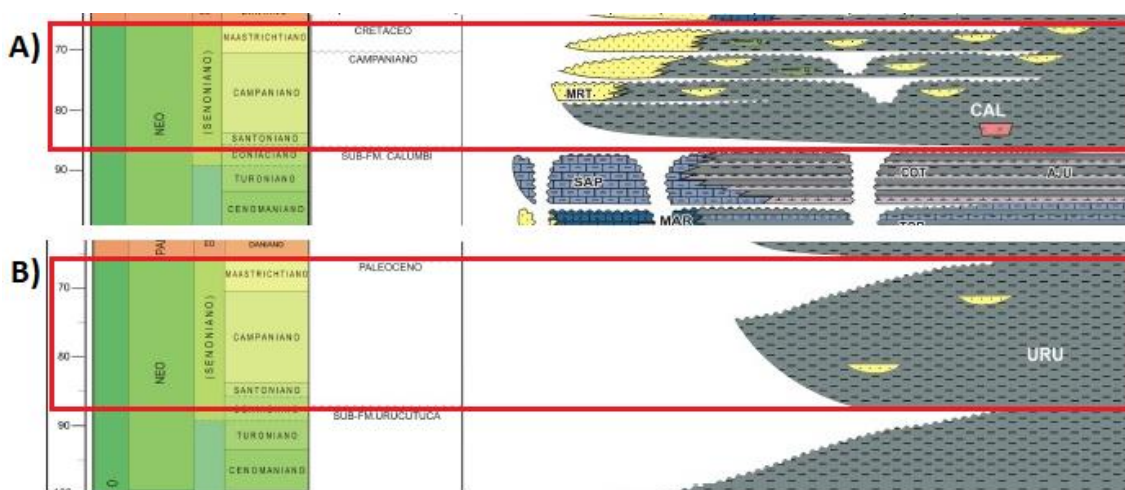


Figura 7: Comparativo estratigráfico do período Neocretáceo entre as bacias de Sergipe (A) e Jacuípe (B), evidenciando a ocorrência de pacotes turbidíticos.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. Atributos sísmicos

A aplicação dos métodos sísmicos na exploração geofísica, especialmente a interpretação sísmica, depende diretamente tanto da experiência e conhecimento do intérprete como da qualidade obtida na aquisição e processamento dos dados. Diante destas variáveis é comum situações de ambiguidade na etapa de interpretação. Os atributos sísmicos, portanto, são utilizados como uma ferramenta para auxiliar e trazer maior clareza na avaliação e caracterização de subsuperfície, evidenciando características não visíveis nos dados sísmicos originais em amplitude.

Taner (2001) define como atributo sísmico “qualquer informações obtidas do dado sísmico, tanto por medições diretas ou lógica, ou análises baseadas em experiência e conhecimentos anteriores”. Neste sentido, matematicamente, parâmetros físicos de ondas como amplitude, frequência e medidas de tempo, são utilizados no desenvolvimento de diferentes atributos.

Barnes (2016) reconhece que foi apenas a partir da década de 1960 que os primeiros atributos sísmicos passaram a ganhar notoriedade, através da associação de *bright spots* como indicadores de ocorrência de hidrocarbonetos. O avanço científico e tecnológico nas décadas seguintes nos trouxe hoje a possibilidade de inúmeros atributos através de diferentes combinações matemáticas e computacionais.

Os atributos sísmicos possuem diferentes formas de classificação propostas, baseadas em sua associação com a geologia, em parâmetros físicos ou computacionais ou mesmo em estágio pré ou pós-empilhamento. A classificação mais comumente utilizada (TANER, 2001; CHOPRA, MARFURT, 2007), separam-lhes em atributos físicos e geométricos. Os atributos físicos, como amplitude, fase e frequência, refletem propriedades físicas das rochas, sendo utilizados para caracterização litológica; enquanto os atributos geométricos, como *dip*, curvatura, coerência, etc., identificam características

como mergulho, azimute e continuidade, e tem maior aplicação na interpretação estratigráfica.

Para a realização deste trabalho, são aplicados os atributos físicos de amplitude RMS e *Pseudo-Relief* (ou TecVA) e fase instantânea.

### 3.1.1. Amplitude RMS

O atributo de amplitude RMS - do inglês, *Root Mean Square*, ou raiz da média quadrática - como o próprio nome indica, corresponde ao cálculo da raiz quadrada da média aritmética do quadrado dos valores de amplitude, em um traço sísmico com N amostras (Equação 1), efetuado da seguinte maneira:

$$x_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Amplitudes mais baixas ou altas marcam o contraste de impedância acústica, podendo revelar mudanças na litologia ou características deposicionais e de compactação, a exemplo da Figura 8, onde, ao aplicar o filtro de amplitude RMS, os pontos brilhantes auxiliam na visualização das anomalias de amplitude.

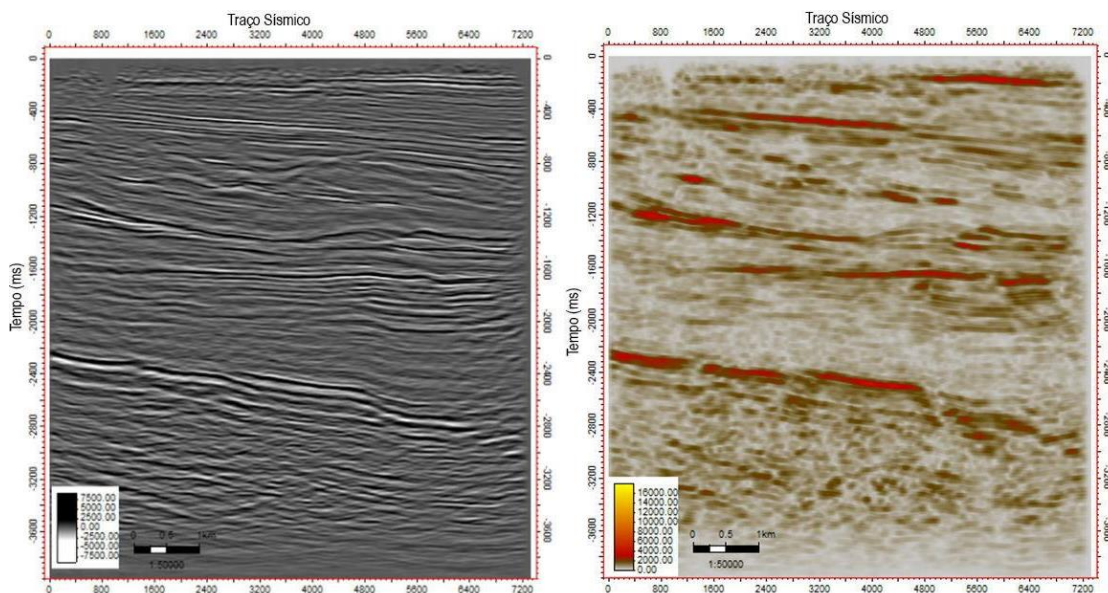


Figura 8: comparativo entre dado sísmico original e com aplicação de atributo de amplitude RMS (Coelho, 2017).



### 3.1.2. Atributo *Pseudo-Relief* (TecVA)

O atributo *Pseudo-Relief* (do inglês, 'pseudo-relevo', também conhecido como TecVA, técnica de volume de amplitudes) baseia-se no princípio da sismocamada elementar, que é a camada de menor espessura que o dado sísmico consegue resolver. Utiliza-se a priori o cálculo do RMS (Equação 1) no intervalo de tempo desta camada, e então efetua-se a rotação de fase do dado de amplitude RMS através da Transformada de Hilbert.

O atributo da técnica de volume de amplitudes é uma importante ferramenta para a identificação de sequências sismoestratigráficas e inconformidades, uma vez que seu resultado apresenta uma combinação dos atributos amplitude RMS, *Remove Bias* e *Phase Shift*, numa espécie de imagem em 'alto relevo', como mostra a Figura 9.

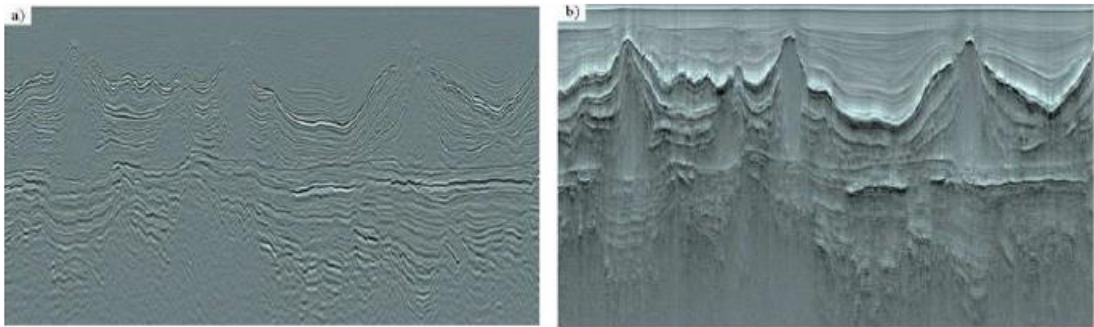


Figura 9: Comparativo entre (a) seção sísmica original e (b) com o filtro pseudo-relief (TecVA) aplicado (Bulhões & Amorim, 2005).

### 3.1.3. Atributo de Fase Instantânea

O atributo de fase instantânea baseia-se em análises complexas do traço sísmico e enfatiza a continuidade de eventos. É dada pela medida angular da posição relativa em uma onda senoidal. A Figura 10 mostra a relação entre o traço sísmico e sua fase instantânea através do tempo. Observa-se que a fase é  $0^\circ$  nos picos e  $180^\circ$  nos vales, e  $90^\circ$  e  $-90^\circ$  em amplitudes de 0 descendente e ascendente, respectivamente.

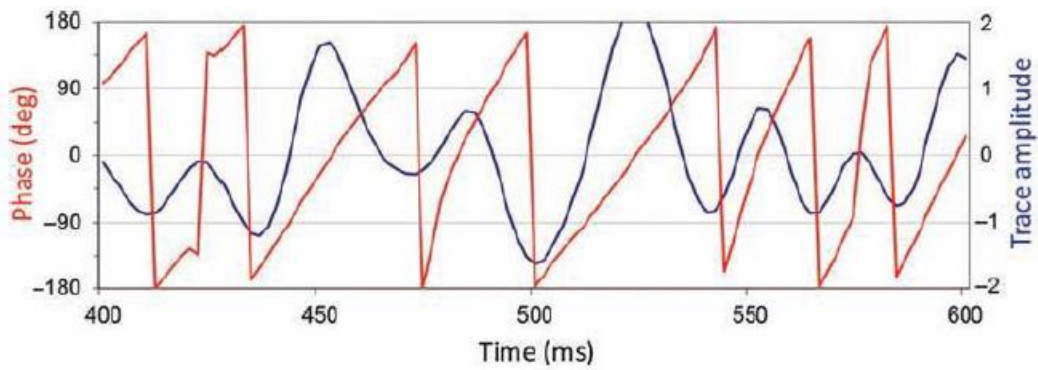


Figura 10: Relação entre traço sísmico, em azul, e fase instantânea, em vermelho (Barnes, 2016).

O uso do atributo de fase instantânea é de utilidade para a identificação de falhas, pinch-outs, feições de canais e interpretação de terminações de seqüências estratigráficas, pois evidencia essas descontinuidades (Fig. 11).

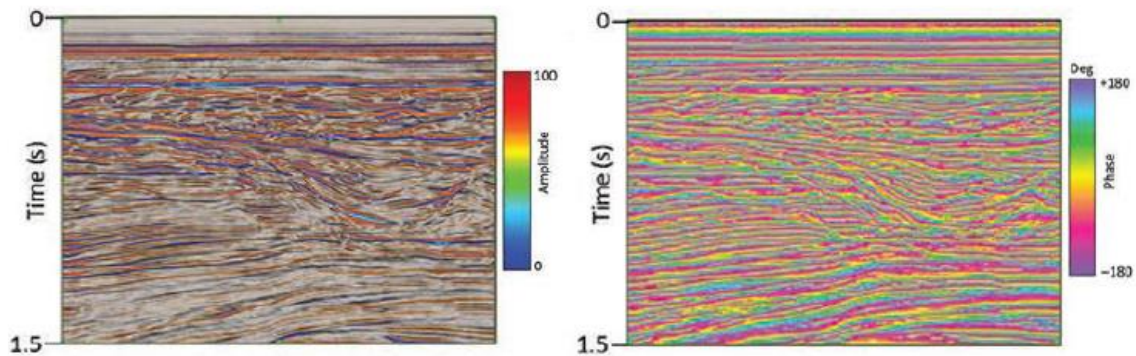


Figura 11: Comparativo entre seção sísmica original, com escala de amplitude, e com atributo de fase instantânea, com escala de medida angular da fase (Barnes, 2016).

#### 3.1.4. Atributo Cosseno de Fase

O atributo Cosseno de Fase é derivado da Fase Instantânea e é dado pela normalização do traço sísmico, obtida pelo quociente entre o traço sísmico e a intensidade de reflexão.

Em termos práticos, o resultado obtido no uso do atributo cosseno de fase é relativamente similar ao de fase instantânea, uma vez que também remove contrastes de amplitude. Entretanto, destaca-se neste atributo uma oscilação mais branda entre valores positivos e negativos (MENESES, 2010). A aplicabilidade deste atributo, para além das supracitadas na fase instantânea

também evidencia a continuidade de padrões de refletores, sendo utilizada para delimitação de unidades/fácies sísmicas (Fig. 12).

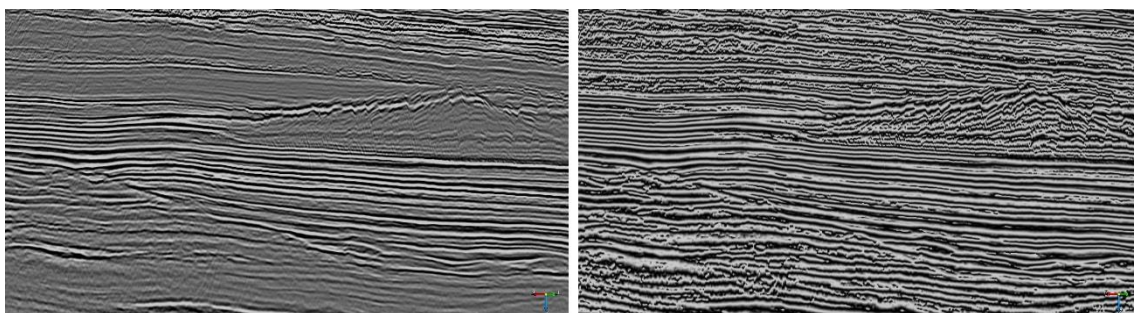


Figura 12: Comparativo entre sísmica original – esquerda - e com atributo de cosseno de fase – direita (Imagem da autora).

### 3.2. Depósitos Turbidíticos

Turbiditos são rochas sedimentares com origem associada a correntes de turbidez, e formam depósitos que são tidos como excelentes reservatórios, devido à sua alta porosidade.

Uma corrente de turbidez é um fluxo gravitacional que possui uma base laminar de alta densidade e uma porção superior menos densa e mais turbulenta, e pode ocorrer em eventos de curta duração, como tempestades ou falhamentos em taludes, ou de longa duração, como cheias fluviais (D'Ávila & Paim, 2003). Essas correntes são divididas em três partes de acordo com o comportamento do fluxo: cabeça, parte frontal de fluxo mais turbulento e maior espessura; corpo, com fluxo predominantemente uniforme, e cauda, região onde há expressiva queda na energia de fluxo (Fig. 13)

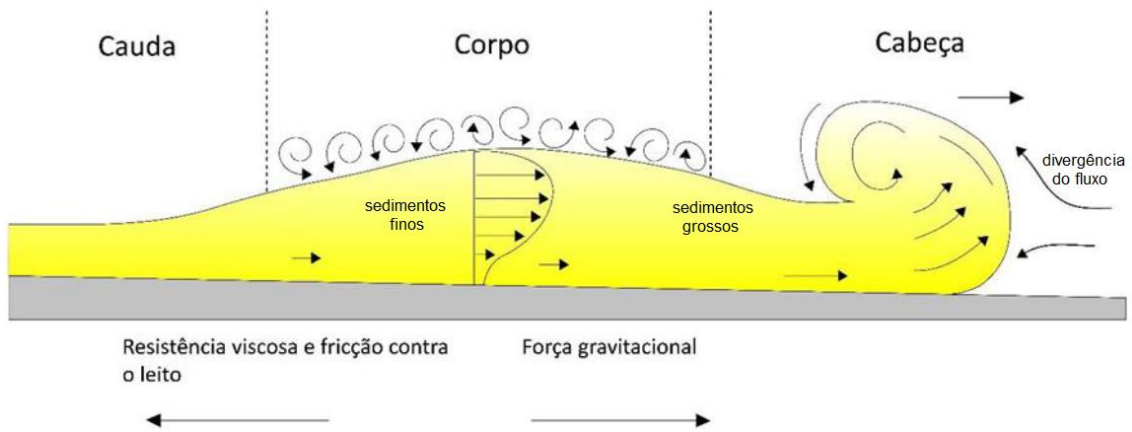


Figura 13: Divisão de uma corrente de turbidez. Modificado de Morais, 2017.

A cabeça de uma corrente é a região com maior energia e turbidez e, ao descer uma região de alto declive, como um talude, erode parte do substrato, incorporando assim, mais carga sedimentar ao fluxo. A partir do momento em que a corrente perde energia, a deposição de lâminas sedimentares distintas ocorre devido à variedade de sedimentos contidas neste fluxo. Bouma (1962, *apud* D'Ávila & Paim, 2003) propõe uma sequência de deposição ideal para depósitos turbidíticos, conhecida como Sequência de Bouma, que é dividida em cinco intervalos estratigráficos granodecrescentes da base ao topo, como apresentado na Figura 14.

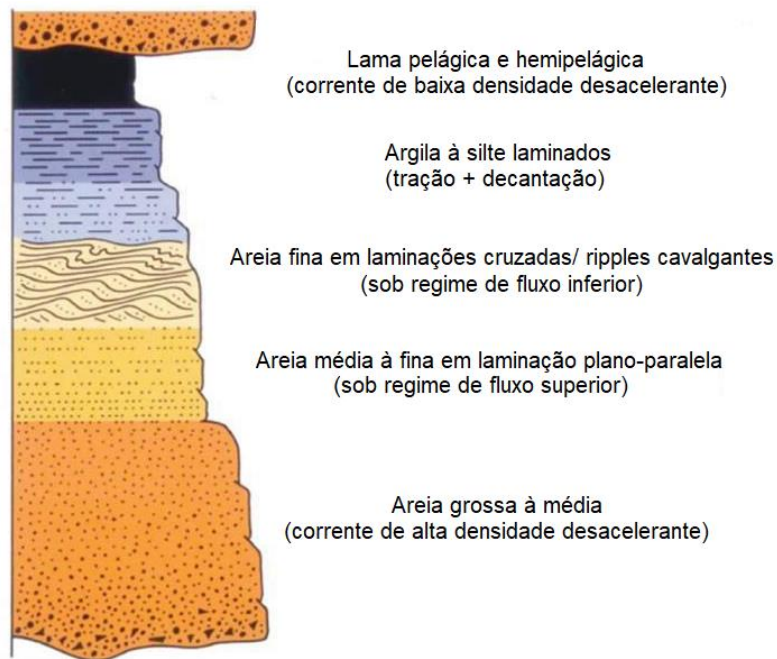


Figura 14: Sequência de Bouma e sua interpretação atual (modificado de Posamentier & Walker, 2006).

Apesar de a Sequência de Bouma ser utilizada até os dias atuais, Mutti (1992) verifica que este modelo está restrito a correntes de turbidez de menor densidade, e indica mecanismos mais complexos para correntes mais densas (Fig. 15), definindo três tipos diferentes de sistemas de depósitos turbidíticos (Fig. 16), levando em consideração também as variações do nível do mar.

O sistema do tipo I é composto por depósitos de areia em geometria tabular alongada, não canalizada nas porções distais, onde ocorrem laminações intercaladas com sedimentos mais finos. É um sistema que ocorre na fase de regressão do nível do mar, e representa um modelo de alta eficiência.

O sistema do tipo II marca a transição entre o canal e o lobo, e é caracterizado por depósitos arenosos a cascalhosos canalizados na porção proximal gradando a arenitos mais finos na porção distal, onde começam a formar depósitos lobulares. Este sistema está relacionado à fase inicial de subida do nível do mar.

O sistema do tipo III é caracterizado por camadas pouco espessas de sedimentos finos, apresentando arenitos finamente canalizados, que gradam

rapidamente a camadas pelíticas. Este sistema ocorre na fase final de transgressão marinha.

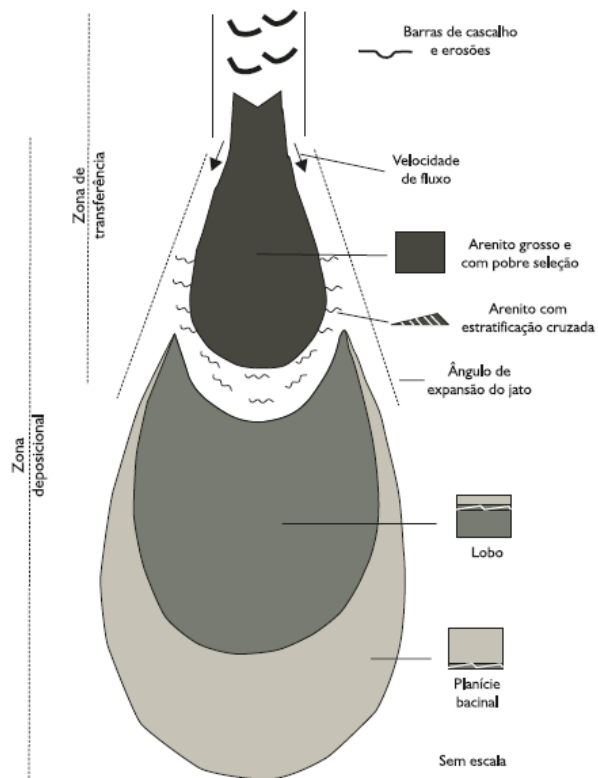


Figura 15: Modelo de deposição turbidítica para correntes de alta eficiência (extraído de D'Ávila & Paim, 2003).

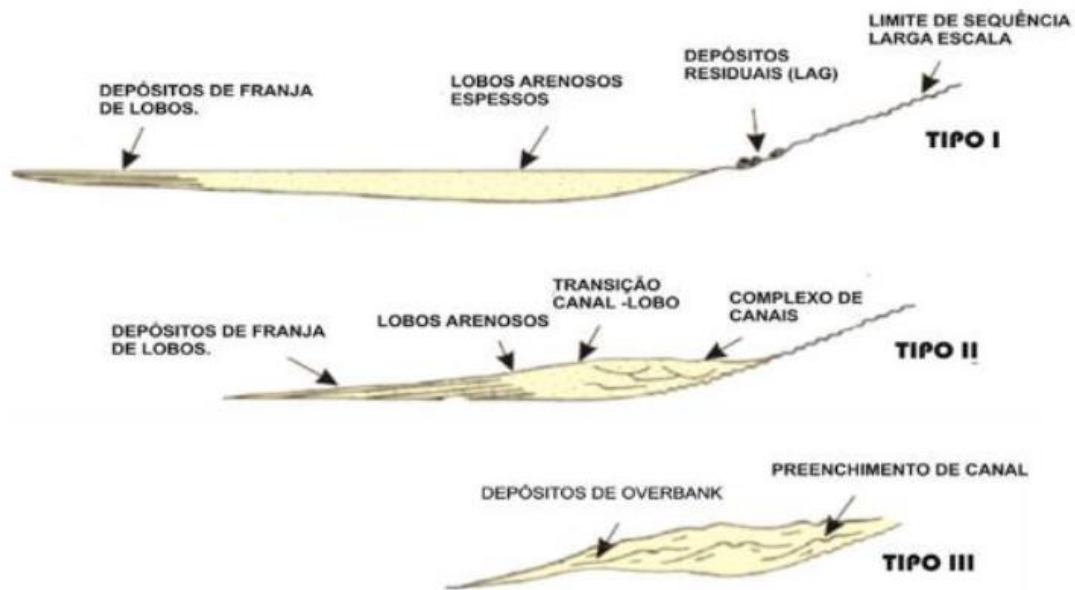


Figura 16: Tipos de sistemas turbidíticos (extraído de D'Ávila & Paim, 2003).

A partir destes conceitos, Mutti (1992, apud D'Ávila & Paim, 2003) introduz a concepção de fácies turbidíticas, que foi retrabalhada por D'Ávila e Paim (2003), que consideram oito diferentes fácies (F2:F9), em ordem granodecrescente, ou seja, de maior a menor densidade (Fig. 17). Desta forma, faz-se um paralelo com o modelo de sistemas turbidíticos, onde as fácies F2 e F3 são relacionadas ao sistema do Tipo I, F4, F5 e F6, ao Tipo II, F7 e F8, ao Tipo 3 e, por fim, F9 representa a Sequência de Bouma para correntes de baixa eficiência.

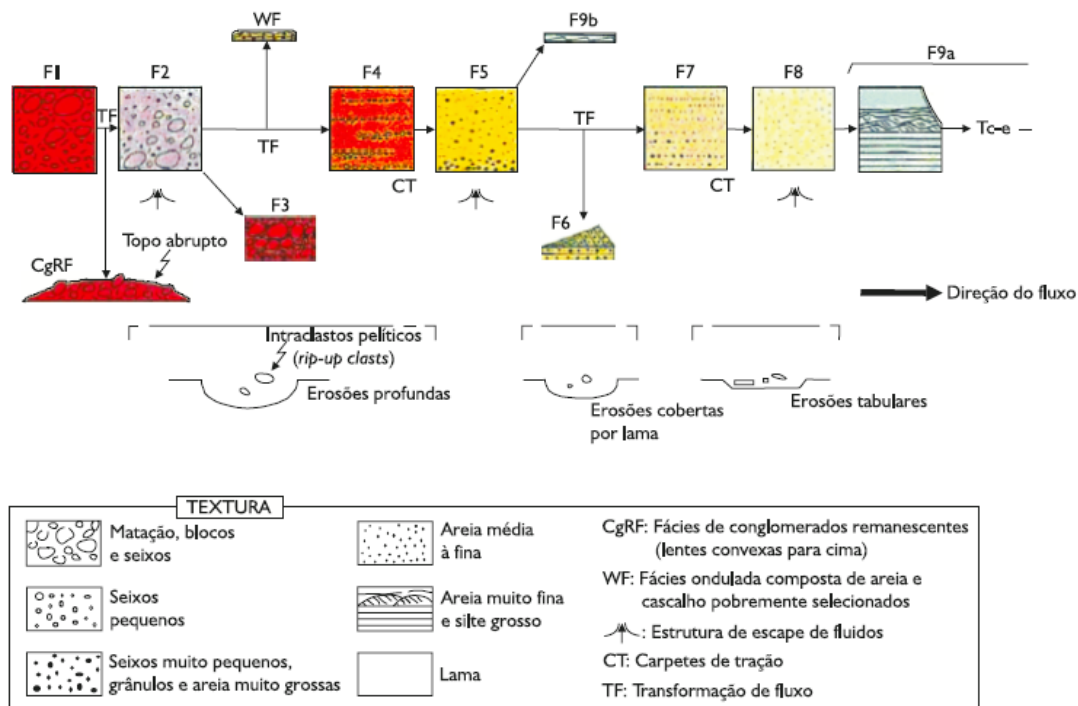


Figura 17: Fácies turbidíticas, segundo Mutti (1992). D'Ávila e Paim (2003), entretanto, não consideram a fácies F1, justificando que esta não se trata de um depósito proveniente de uma corrente de turbidez, uma vez que se apresenta características de um fluxo predominantemente lamoso e sem erosão do substrato (extraída de D'Ávila & Paim, 2003).

Os depósitos turbidíticos ocorrem por toda a extensão de seu sistema, e seus lobos, por atingirem grandes áreas são ainda subdivididos nas porções proximal, intermediária e distal. Desta forma, com base na geometria dos depósitos, Moraes *et al.* (2006) classifica três tipos de depósitos turbidíticos (Fig.18): de canais discretos, de canais amalgamados e de canais distributários e lobos.



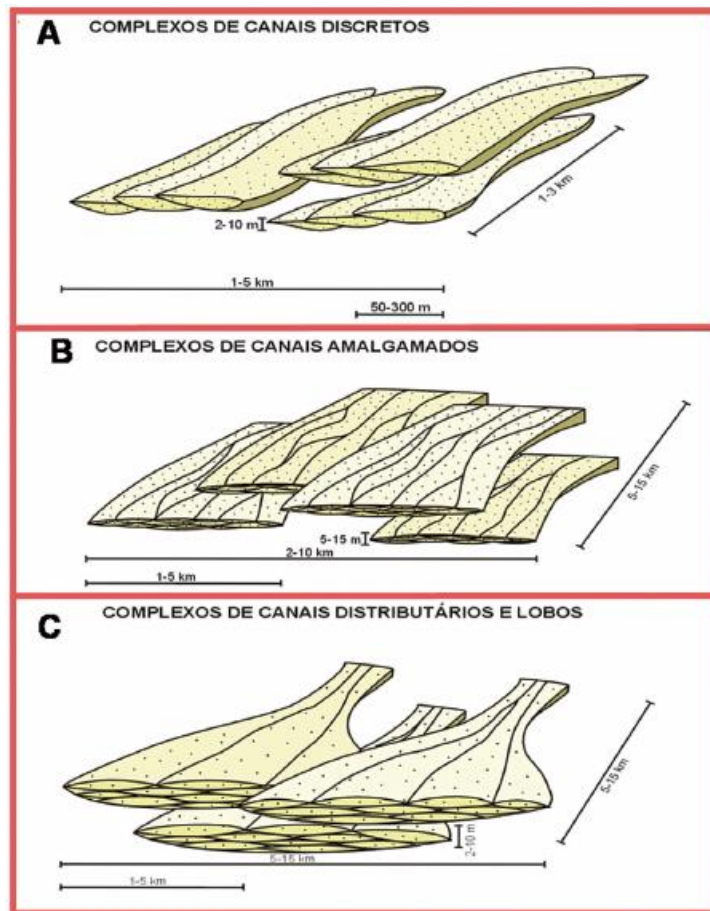


Figura 18: Tipos de depósitos turbidíticos, de acordo com sua geometria, proposto por Moraes et al. (2006). A) Complexos de canais discretos; B) Complexos de canais amalgamados e C) Complexos de canais distributários e lobos (extraído de Souza, 2015).

Os canais discretos são caracterizados por uma geometria de empilhamento vertical ou oblíquo, onde os canais parcialmente segregados, porém conectados tridimensionalmente. São canais compostos por arenitos e/ou conglomerados e expressiva ocorrência de folhelhos.

Os canais amalgamados são corpos areníticos tabulares, rasos e extensos, com boa continuidade lateral, mas pouca espessura vertical.

Os canais distributários e lobos, por sua vez, marcam a transição entre as regiões de canais rasos que alimentam os lobos frontais. Sua geometria ocorre em forma lenticular, com boa continuidade horizontal e pequena variação na espessura.

### 3.2.1. Sismoestratigrafia de depósitos turbidíticos

A fim de interpretar diferentes eventos de deposição sedimentar em uma seção sísmica, esta é subdividida em sismossequências, definidas por um conjunto de refletores com características comuns, separados por uma superfície de descontinuidade. As terminações de refletores sísmicos marcam o limite entre diferentes sequências e são apresentados na Figura 19.

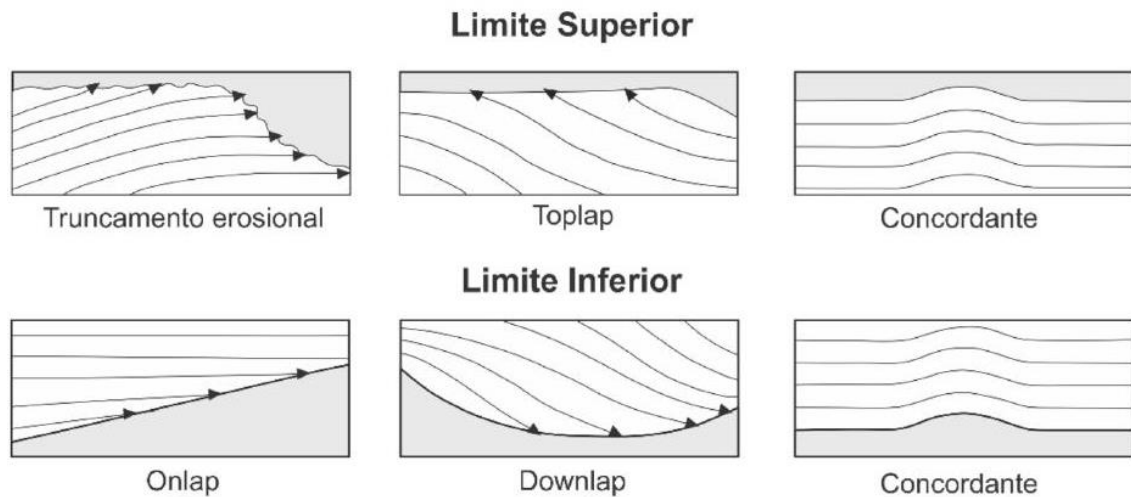


Figura 19: Principais padrões de terminação de refletores sísmicos (extraído de Severiano Ribeiro, 2001).

A configuração interna dos refletores (Fig. 20) é também utilizada como importante parâmetro para interpretação sísmica, uma vez que estão diretamente relacionadas a diferentes características geológicas. As configurações caóticas e *hummocky* são mais comumente relacionadas a depósitos turbidíticos, uma vez que refletem uma deposição menos uniforme.

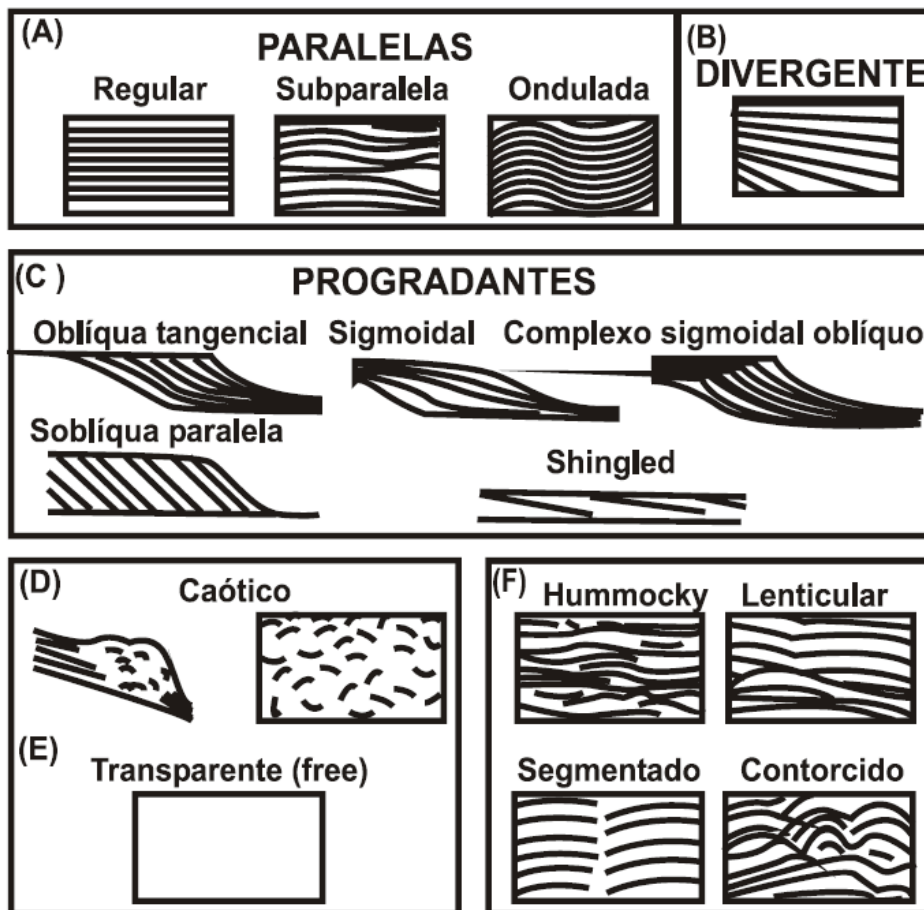


Figura 20: Padrões comuns de configuração interna dos refletores (extraído de Severiano Ribeiro, 2001).

Para depósitos turbidíticos que ocorrem em águas profundas, isto é, em região de menor declividade, como nos canais em lobos, Normark *et al.* (1993) avaliam os diferentes tipos de contatos na base, topo e laterais (Fig. 21) que delimitam estes depósitos.

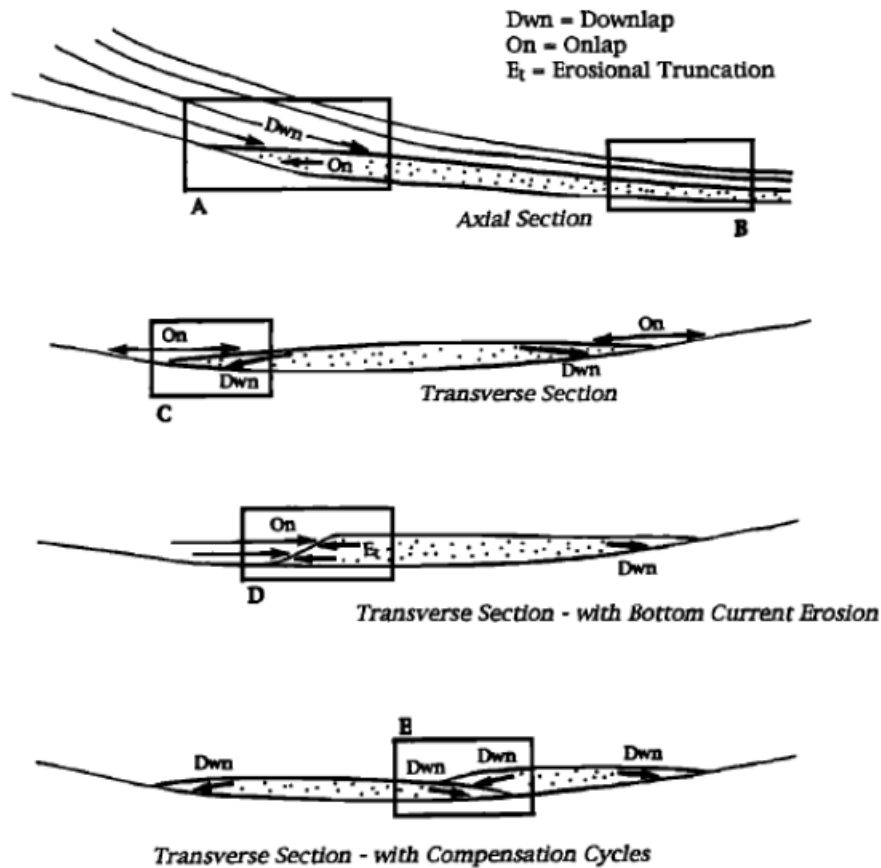


Figura 21: Geometria de estratos e superfícies de contato em depósitos turbidíticos de águas profundas (extraído de Normark et al., 1993).

Os contatos na base de um depósito turbidítico ocorrem em *downlap* bidirecional (21c) ou como *onlap*, em regiões proximais, onde há um declive (21a). Para depósitos distais, é comum que as camadas se apresentem como superfícies conformes, tanto na base como no topo (21b).

Já os contatos de topo ou laterais, podem ocorrer em *onlap*, nos baixos topográficos preenchidos dos flancos do lobo (21c, 21d), ou *downlap*, quando há sucessivos depósitos de lobos (21e) ou quando há uma progradação sobre o depósito (21a). Em regiões com correntes ativas, um truncamento erosivo pode caracterizar este contato (21d).

#### 4. MATERIAIS E METODOLOGIA APLICADA

A realização do presente trabalho se dá através da interpretação de dados geofísicos de sísmica de reflexão 2D pós-empilhamento, utilizando o software livre OpendTect, na sua versão gratuita. Conta-se também com o auxílio de dados da literatura e de perfil composto de poço. O fluxograma do trabalho é apresentado na Figura 22. Os dados técnicos utilizados no trabalho foram disponibilizados pela Agência Nacional do Petróleo (ANP), através de seu Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP), para fins acadêmicos.

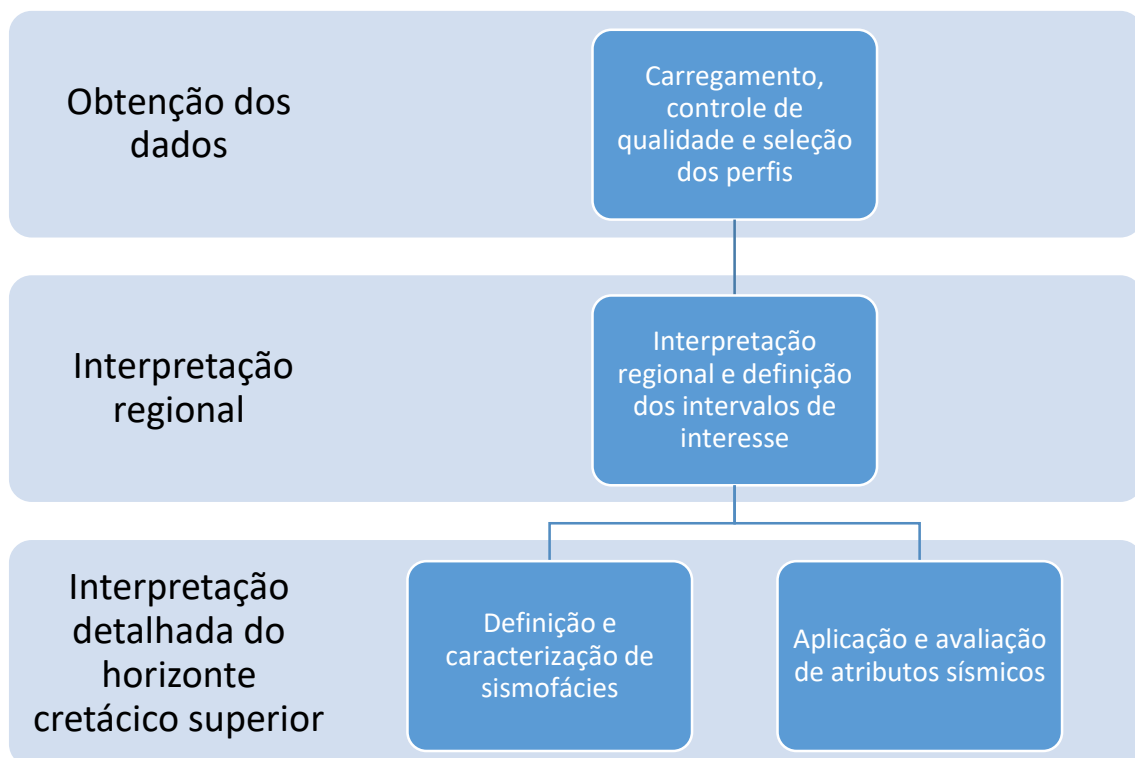


Figura 22: Fluxo de trabalho para realização da pesquisa (Imagem da autora).

Para efetuar um comparativo entre os turbiditos Neocretácicos em Sergipe e Jacuípe, foram selecionadas três linhas sísmicas na porção limítrofe entre as bacias, sendo uma *strike* – VB00-0019 –, que liga duas linhas *dip*, uma em Sergipe – VB00-0200 – e uma em Jacuípe – VB00-0182 (Fig. 23). A linha *strike* é usada apenas para identificação regional de continuidade estratigráfica, enquanto as *dips* são utilizadas também para o estudo de maior detalhe, com aplicação de atributos sísmicos para identificação dos depósitos turbidíticos.

Juntamente com os perfis sísmicos, obteve-se os dados do poço 1-BRSA-214-SES, localizado na sub-bacia de Sergipe - representado por um triângulo na Figura 23. É importante ressaltar que não há poços na porção Norte da Bacia de Jacuípe, sendo este o poço mais próximo das linhas supracitadas. Diante da escassez de dados disponíveis, e da baixa profundidade alcançada por este poço, optou-se por manter as linhas sísmicas em sua escala original de tempo (TWT). O poço, portanto, foi utilizado apenas como auxílio numa interpretação estimativa regional dos depósitos turbidíticos, através dos dados de perfil de sônico e de *gamma-ray*.

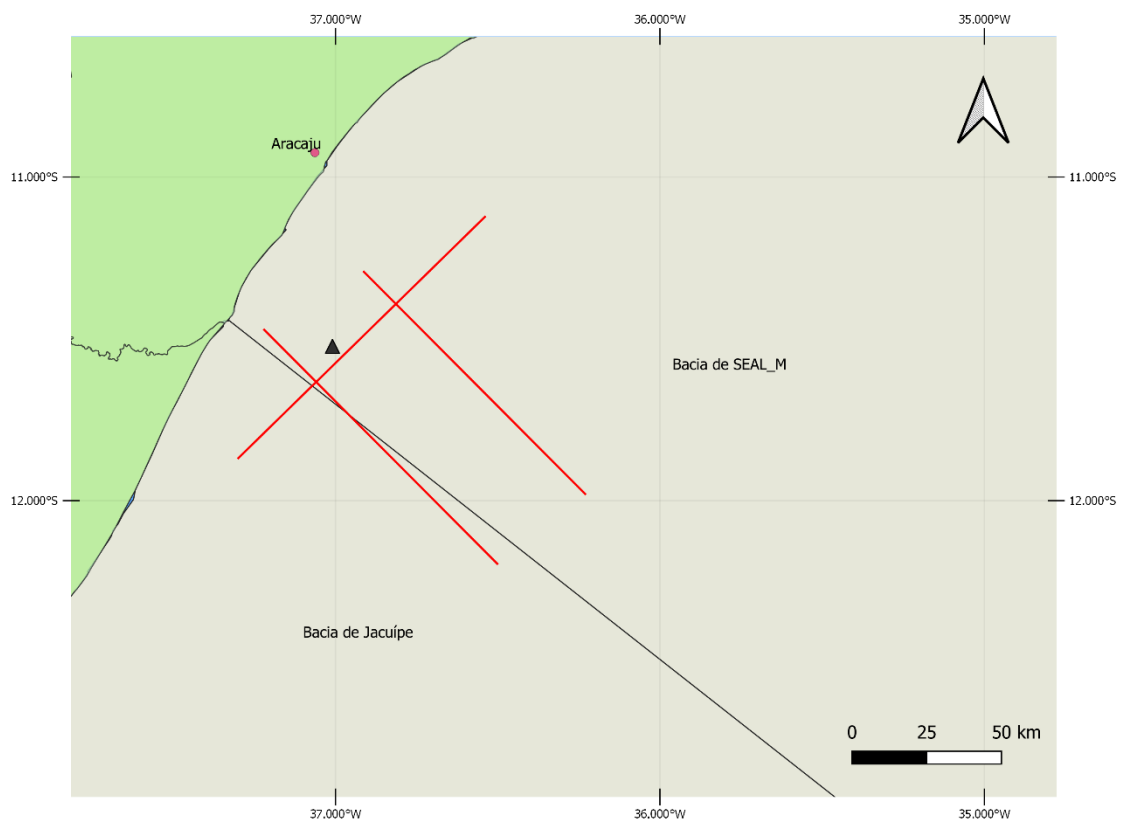


Figura 23: Localização das linhas utilizadas para a realização do trabalho (Imagem da autora).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As três linhas sísmicas escolhidas para a realização do presente trabalho foram carregadas e interpretadas primeiramente em escala regional, afim de observar a continuidade estratigráfica e traçar os horizontes de interesse para a interpretação em detalhe (Fig. 24).

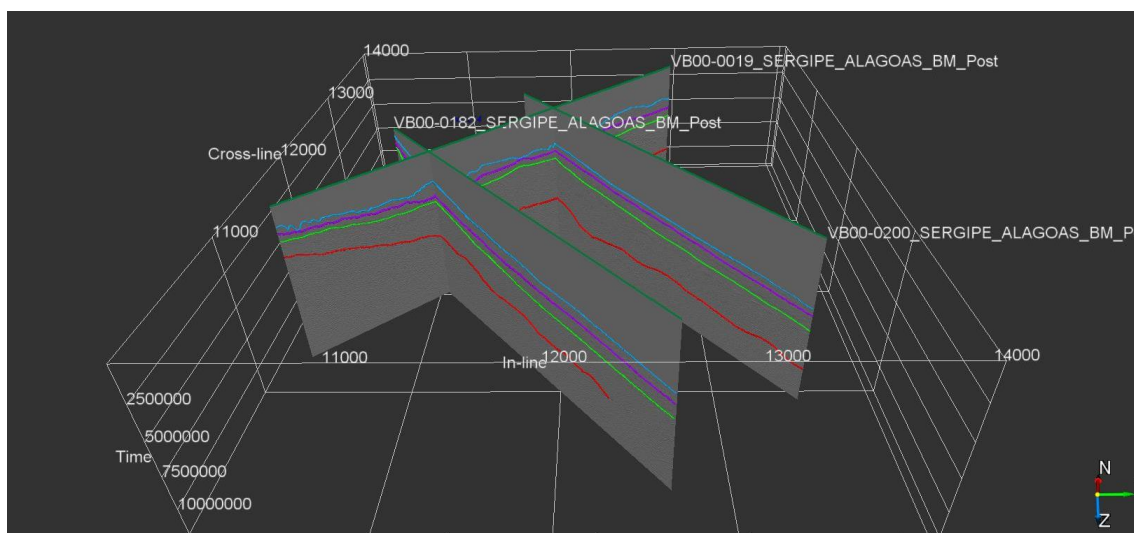


Figura 24: Área de trabalho no software de interpretação OpendTect, evidenciando os horizontes traçados na interpretação regional.

### 5.1. Interpretação e comparativo regional

Quatro horizontes sísmicos representativos foram interpretados: Embasamento, Aptiano Superior, Cretáceo Superior e fundo do mar. A interpretação destes horizontes se deu através de refletores com amplitudes anômalas, que indicam um contraste da impedância acústica; e a escolha de um horizonte aptiano ao invés de albio, que marcaria a passagem para o Cretáceo Superior, se deu devido a melhor visualização do aptiano, através da discordância pré-neo-alagoas.

A linha *strike* VB00-0019 (Fig. 25) cruza as duas linhas *dip* e apresenta boa continuidade estratigráfica. Observa-se, entretanto, um embasamento mais raso e conseqüentemente um pacote sedimentar menos espesso em direção

SW, muito provavelmente devido ao paleoalto estrutural de Jacuípe. Apesar de tal feição, a continuidade das superfícies de interesse definidas para o estudo dos depósitos turbidíticos é visível por toda a extensão da linha.

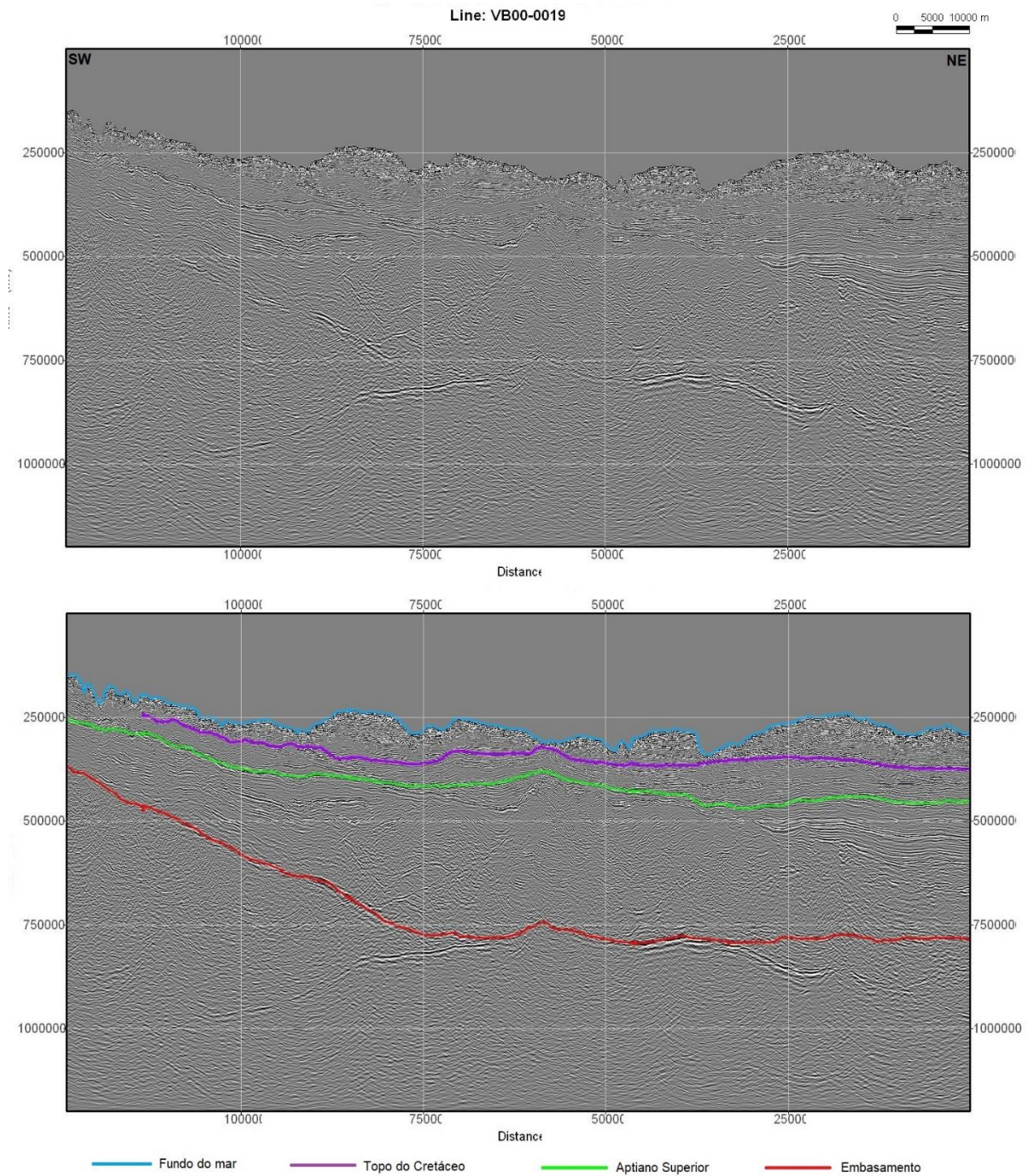
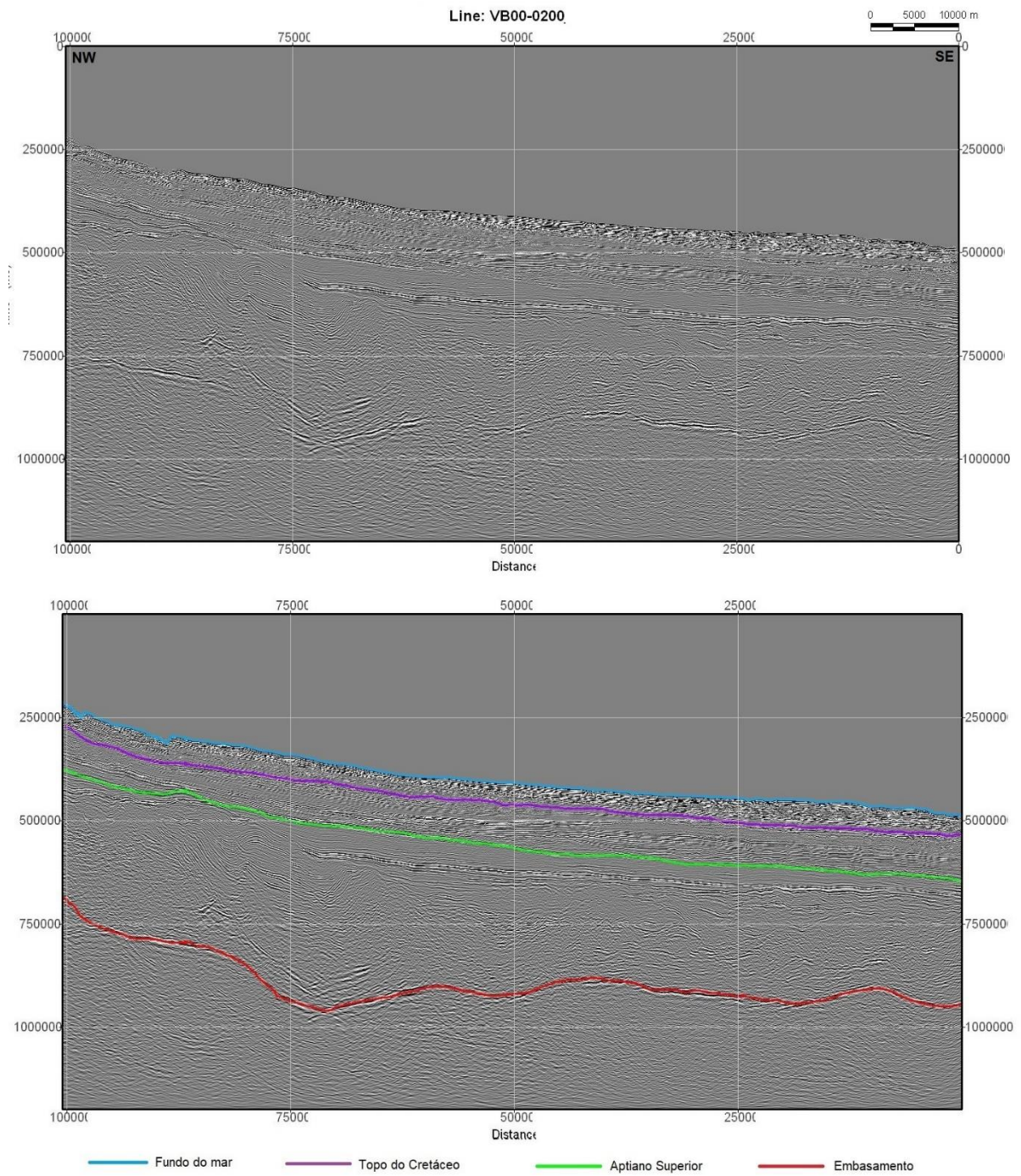


Figura 25: Linha VB00-0019 original e com interpretação regional.



A linha *dip* VB00-0200 (Fig. 26) está situada inteiramente na sub-bacia de Sergipe, enquanto a linha VB00-0182 (Fig. 27) caracteriza o extremo norte da Bacia de Jacuípe, segundo a definição de limites adotada pela ANP. As duas linhas, quase que paralelas uma à outra, apresentam boa correlação estratigráfica regional, com uma espessura sedimentar semelhante do horizonte de interesse.



*Figura 26: Linha VB00-0200 original e com interpretação regional.*

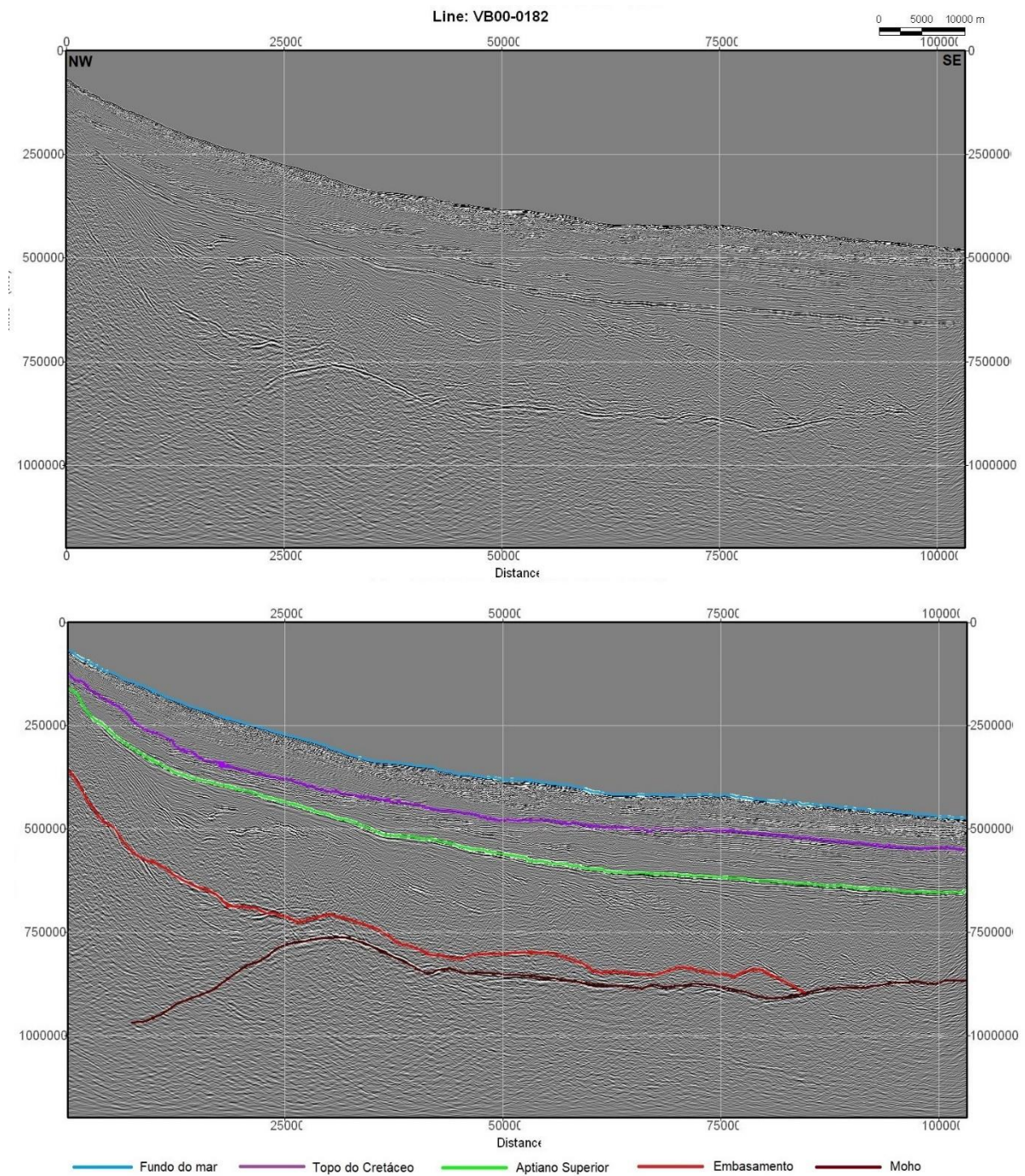


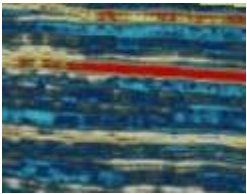
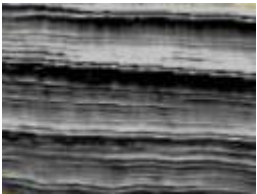
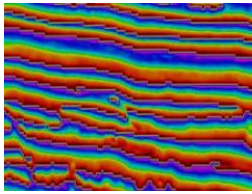
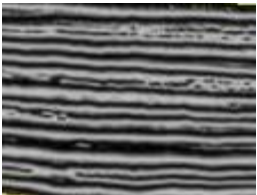
Figura 27: Linha VB00-0182 original e com interpretação regional.

## 5.2. Interpretação do intervalo Cretáceo Superior

Após a etapa de interpretação regional e verificação de continuidade estratigráfica lateral entre as linhas *dip*, estas passaram a ser interpretadas

separadamente, tendo o intervalo entre o Aptiano e o Topo do Cretáceo observado em maior detalhe, a fim de delimitar feições que indicariam descontinuidades estratigráficas e diferentes sismofácies. Para realçar estas feições e contribuir para a definição das diferentes sismofácies, foram utilizados quatro diferentes atributos sísmicos que são descritos na Tabela 1.

*Tabela 1: Resumo dos atributos sísmicos aplicados e suas utilidades.*

<b>Atributo</b>	<b>Aplicabilidade</b>	<b>Apresentação visual</b>
RMS	Transforma os picos e calhas do sinal sísmico em positivo, auxiliando na visualização de amplitudes anômalas. Útil para designar diferentes litologias.	
<i>Pseudo-Relief</i> (TecVA)	Contrastes de impedância formam uma espécie de visualização 3D que propicia a delimitação e visualização geométrica dos pacotes presentes.	
Fase instantânea	Enfatiza a continuidade dos eventos. Utilizado principalmente para visualização de sequências e terminação de refletores.	
Cosseno de fase	Identificação de padrão de refletores, delimitando diferentes sismofácies.	

Através desta interpretação local e com o auxílio do conhecimento literário e de perfis compostos de poços da região de Sergipe, foi possível identificar, na linha VB00-0200 (Fig. 28) a discordância Sub-Formação Calumbi, realçando assim o pacote Coniaciano-Maastrichtiano, de interesse de estudo do presente trabalho, uma vez que é neste intervalo que se encontram os turbiditos que atuam como rochas reservatório deste sistema petrolífero na Bacia de Sergipe (ANP, 2017).

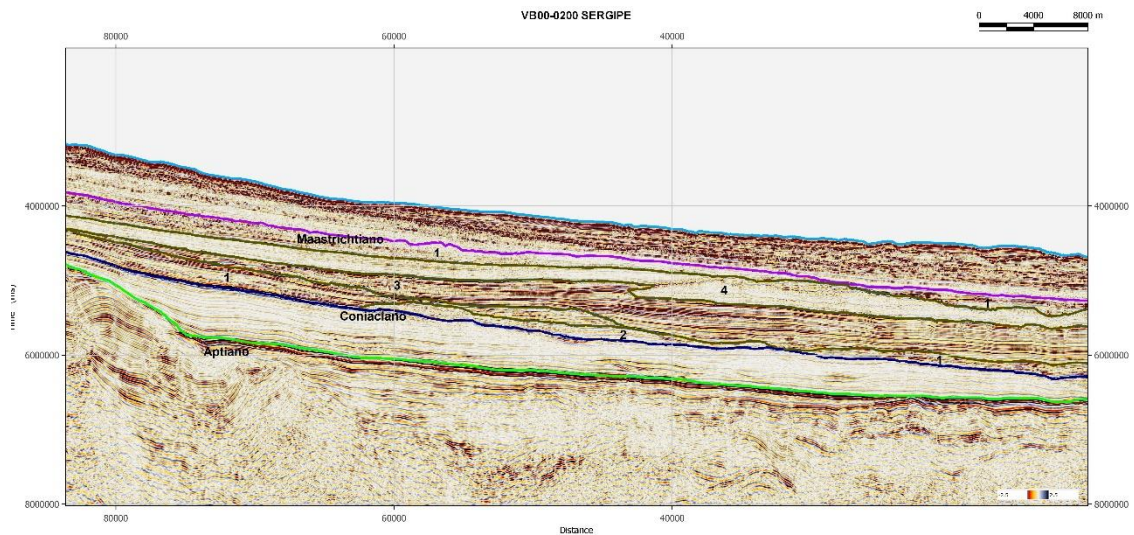
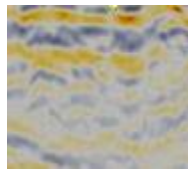
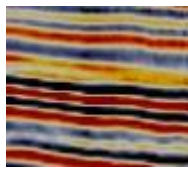
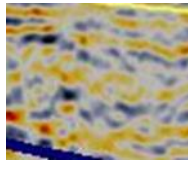
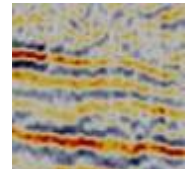


Figura 28: Interpretação do pacote neocretácico na linha VB00-0200. Em azul, a discordância sub-Formação Calumbi, marcando o intervalo onde se encontram os pacotes turbidíticos reservatório, entre o Coniaciano e Maastrichtiano (topo do Cretáceo, em roxo). Os números 1 a 4 indicam as diferentes sismofácies.

Com foco no intervalo supracitado, após a aplicação dos atributos sísmicos é possível visualizar quatro diferentes sismofácies (Fig. 28), conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2: Características sísmicas descritivas na definição de sismofácies.

Sismofácies	Descrição	Apresentação visual
4	Amplitude muito baixa, baixa frequência, refletores contínuos paralelos em porção proximal e descontínuos, em configuração caótica e intensamente falhada na porção distal.	
3	Alta amplitude, alta frequência, refletores contínuos, geometria regular e paralela.	
2	Baixa amplitude, baixa frequência, refletores descontínuos com configuração interna caótica.	
1	Amplitude baixa à média, frequência média, refletores mais contínuos na porção proximal e pouco contínuos na porção distal, padrão geométrico irregular intercalado paralelo à caótico.	

Os atributos RMS e *pseudo-relief* foram especificamente importantes para mapear inconformidades e mudanças de litologia. O RMS, que calcula a média quadrática da amplitude do sinal sísmico, traz como resultado apenas valores positivos, evidenciando o que na sísmica original seriam picos e calhas no sinal. Estas anomalias de amplitude são particularmente visíveis nas fácies 1 e 3, sendo esta última mais expressiva, em camadas contínuas e paralelas (Fig. 29). Na fácies 1, este atributo apresenta variação de amplitude conforme a variação da configuração interna de refletores, sendo assim, marcando esta transição entre refletores subparalelos para uma configuração caótica. Outro destaque se dá no preenchimento e cobertura de feições de vale, onde podem-se observar localmente camadas de maior espessura e amplitude do sinal.

Nas fácies 2 e 4 este atributo é pouco expressivo, entretanto destaca-se, ainda que em baixa amplitude, um refletor demarcando um corpo com geometria externa de leque, apresentando terminações em *downlaps* em ambos os lados, na fácies 2. Na fácies 4, este atributo destaca a superfície superior de uma região com blocos intensamente falhados.

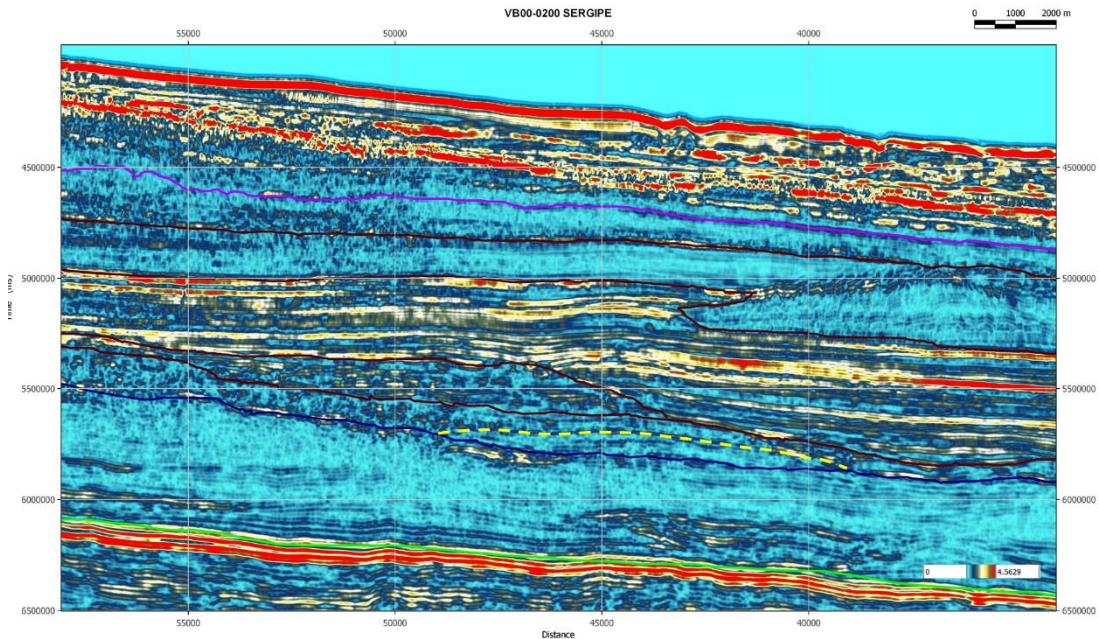


Figura 29: Aplicação do atributo RMS, onde nota-se as anomalias de amplitude nas fácies 1 e 3. Em tracejado, feição de leque visível na fácies 2.

O atributo *pseudo-relief* também tem como ponto de destaque as regiões de maior amplitude, chegando a mascarar as de menor amplitude, como no caso da fácies 4, em que se torna indistinguível qualquer feição de configuração interna dos refletores. Entretanto, este atributo serve particularmente para demarcar destaques em meio a geometrias irregulares, como nas fácies 1 (Fig. 30), e também denota o preenchimento de feições erosivas entre fácies 1 e 2. A região da fácies 1 remobilizada pelo falhamento da fácies 4 forma feições propícias de preenchimento por sedimentação posterior, como vales e *pinch-outs*, destacadas por este atributo.

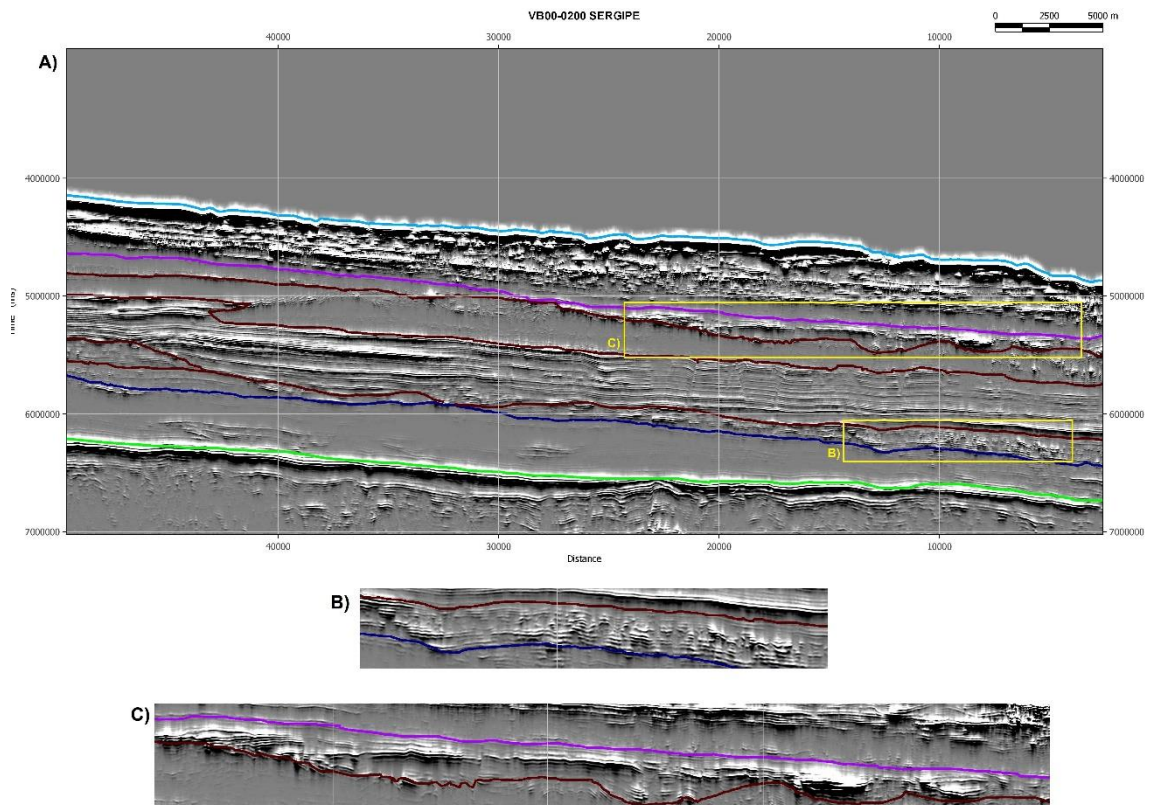


Figura 30: Atributo pseudo-relief, abrangendo as quatro sismofácies (A) e, em detalhe no destaque da fácies 1, preenchimento de canais e feições erosivas (B e C).

Os atributos fase instantânea e cosseno da fase apesar de serem matematicamente relacionados, apresentam expressões visuais com diferentes aplicabilidades. Por ignorarem as informações de amplitude, ambos os atributos tornam todos os refletores visíveis, e através do atributo cosseno de fase, é possível identificar padrões de configuração interna de refletores (Fig. 31 A), contribuindo para a definição das diferentes sismofácies. Por sua vez, o uso do atributo fase instantânea tem como principal aplicação a visualização de terminação de refletores (Fig. 31 B), o que colabora na delimitação de fácies e seqüências e na localização do ambiente de sedimentação. Em linhas *dip*, portanto, é um atributo fundamental para a investigação estratigráfica de depósitos provenientes de correntes de turbidez.



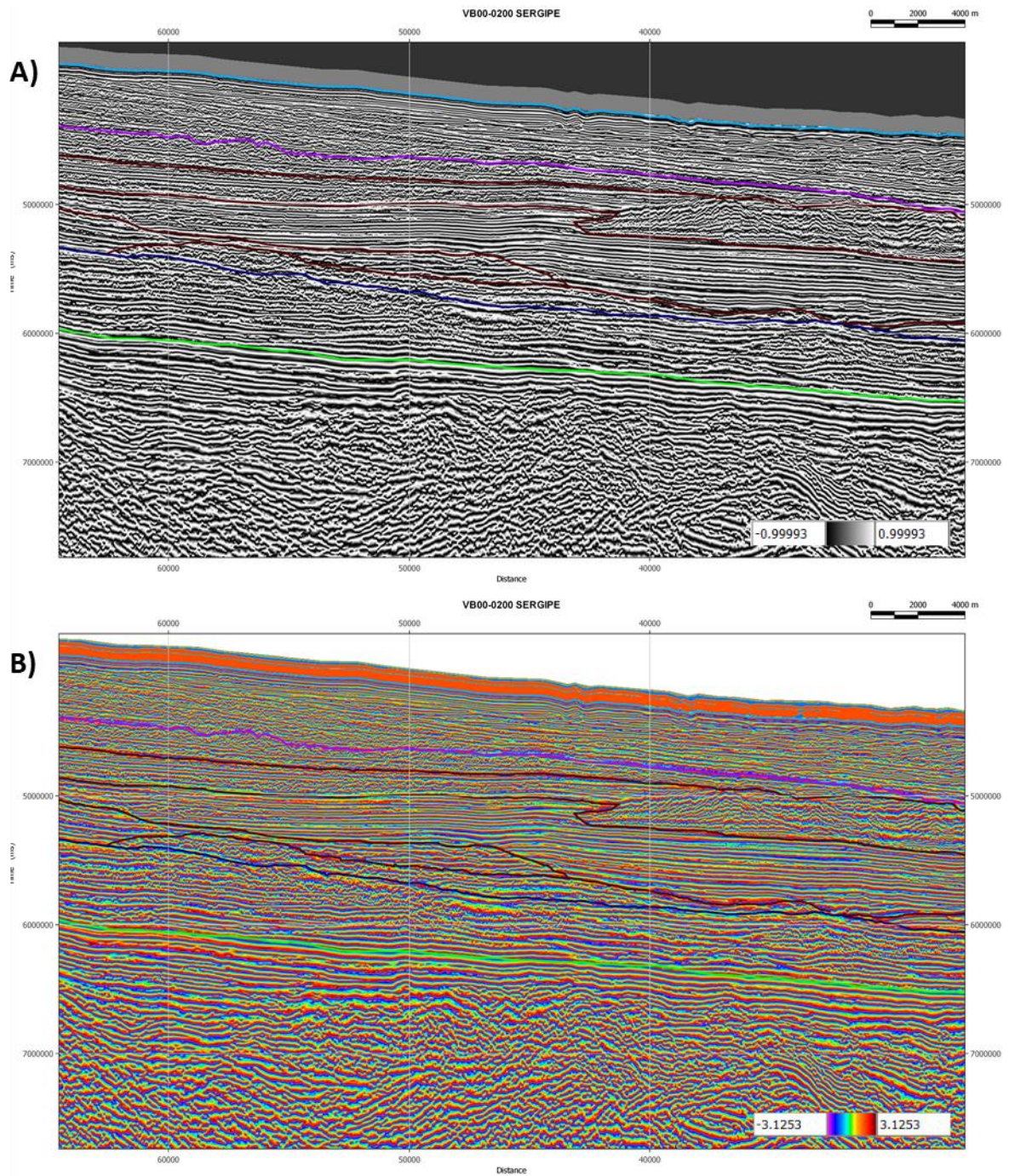


Figura 31: Atributos cosseno de fase (A), evidenciando a configuração interna dos refletores, e fase instantânea (B), denotando terminação de refletores.

Através do uso destes atributos obteve-se com maior clareza a definição da geometria externa de corpos, tornando possível distinguir regiões com a presença de canais preenchidos e de alternância entre camadas com refletores caóticos, na fácies 1, e de um leque, na fácies 2 (Fig. 32). Estas duas fácies,

portanto, são as mais propícias à ocorrência de reservatórios turbidíticos. Para as fácies 3, os atributos de fase denotam a deposição contínua e plano-paralela, típica de sedimentação fina, podendo ser localmente intercalada com areia. Para a fácies 4, subdivide esta na região proximal, com refletores localmente contínuos e paralelos, e distal, com a ocorrência de um cinturão gravitacional, região a qual está fortemente falhada.

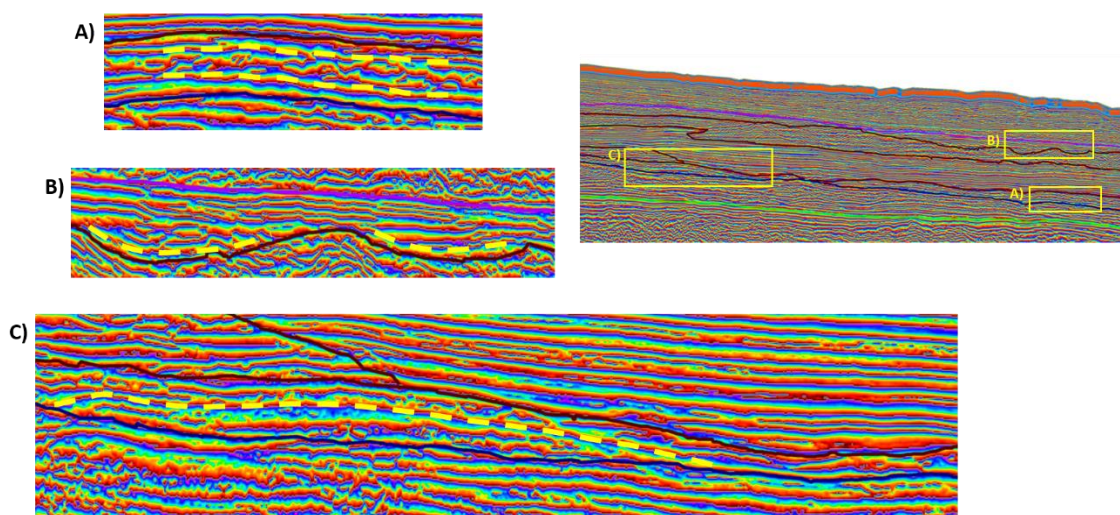


Figura 32: Detalhes de feições visíveis com o atributo Fase Instantânea. A) intercalação entre camadas com diferentes configurações de refletores, B) preenchimento de feições remobilizadas, e C) leque da fácies 2.

Para a linha VB-0182, em Jacuípe, utilizou-se como parâmetro a definição adotada na linha VB-0200, demarcando assim a discordância Sub-Formação-Urucutuca, equivalente à discordância Sub-Formação-Calumbi, em Sergipe.

Dentro deste pacote de intervalo Coniaciano-Maastrichtiano, podem ser observadas três diferentes sismofácies, conforme descritas na Tabela 2: sismofácies 1, 3 e 4 (Fig. 33). A sismofácies 2, que registra a ocorrência de leque turbidítico, não está presente nesta porção de Jacuípe.

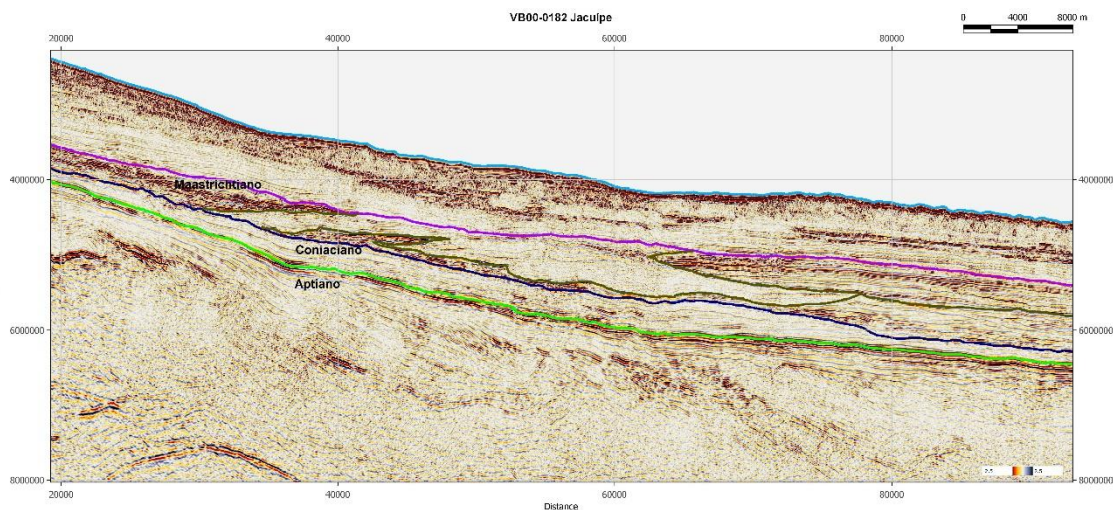


Figura 33: Linha VB00-0182 que corta o limite entre as bacias de Sergipe e Jacuípe, interpretada de acordo com as sismofácies no intervalo Coniaciano-Maastrichtiano.

Ao aplicar o atributo RMS no intervalo de interesse, destacam-se os picos de amplitude anômalas nas sismofácies 1 e 3, enquanto a sismofácies 4 pouco se distingue em amplitude (Fig. 34 A). Na sismofácies 1, na região de maior declive, mais próxima ao talude, é onde tem-se uma proeminência dessas anomalias, entretanto é na porção mais distal, que é possível observar estas anomalias em uma série de feições erosivas e pequenos canais (Fig. 34 B). Na sismofácies 3, assim como em Sergipe, também há a ocorrência eventual de anomalias de amplitude, relacionadas a uma variação de litologia, entretanto, em Jacuípe, estas apresentam-se na porção superior da camada, mais próximas ao limite Maastrichtiano.

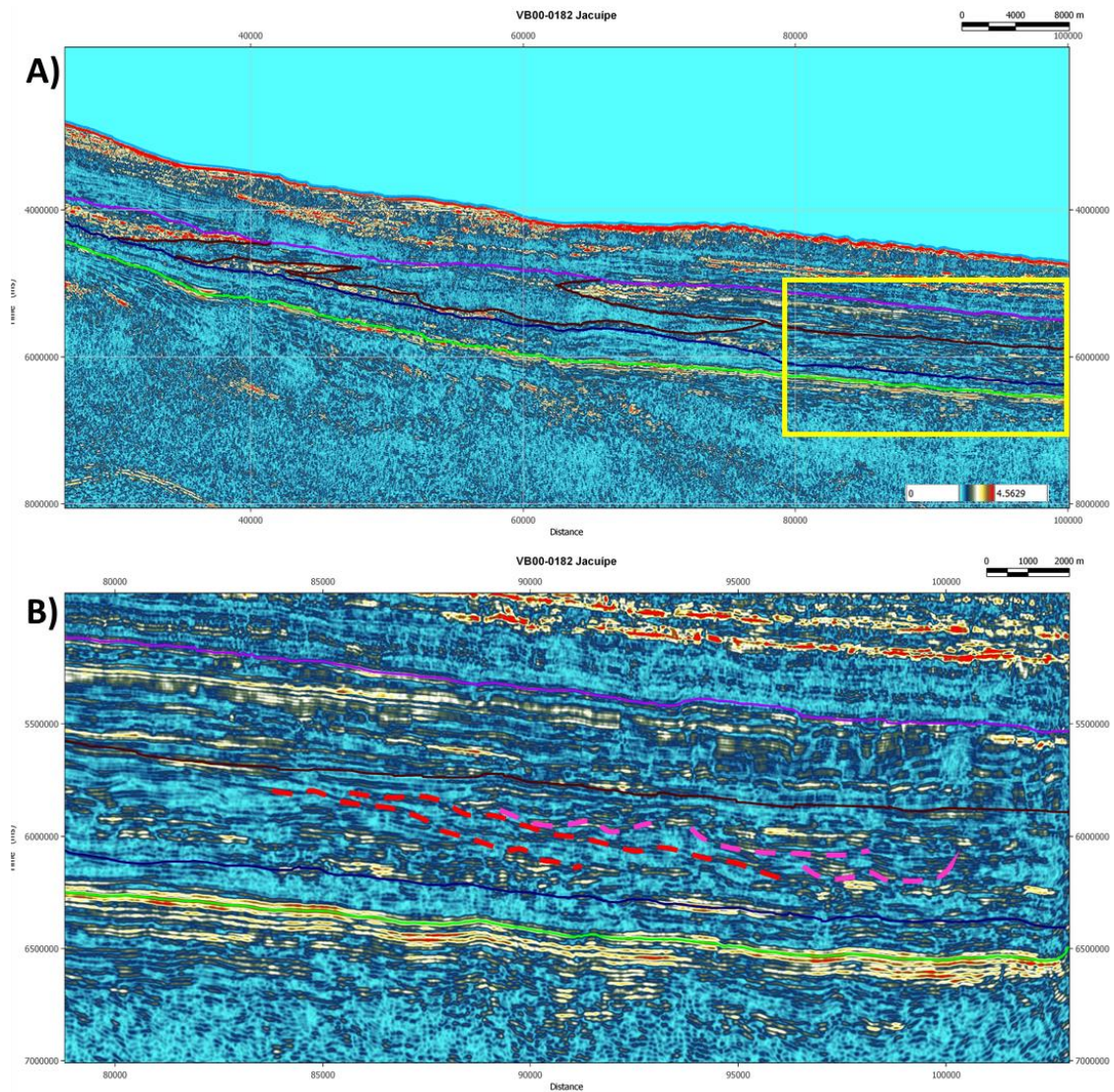


Figura 34: Atributo RMS aplicado à linha VB 0182 em Jacuípe (A). Detalhe de canais e feições de corte visíveis na sismofácies 1 (B)

Apesar de tornar visível a geometria característica, com o atributo RMS os preenchimentos destes possíveis canais não apresentam sinais de anomalias proeminentes, com valores medianos em torno de 2-2.5 de amplitude positiva. Já com o atributo *pseudo-relief* estas feições tornam-se mais destacadas, inclusive na sismofácies 3, onde se torna possível perceber a ocorrência de refletores contínuos e pouco espessos, típicos de sedimentação pelítica, com terminações em *onlap*, indicando feição de corte e preenchimento.

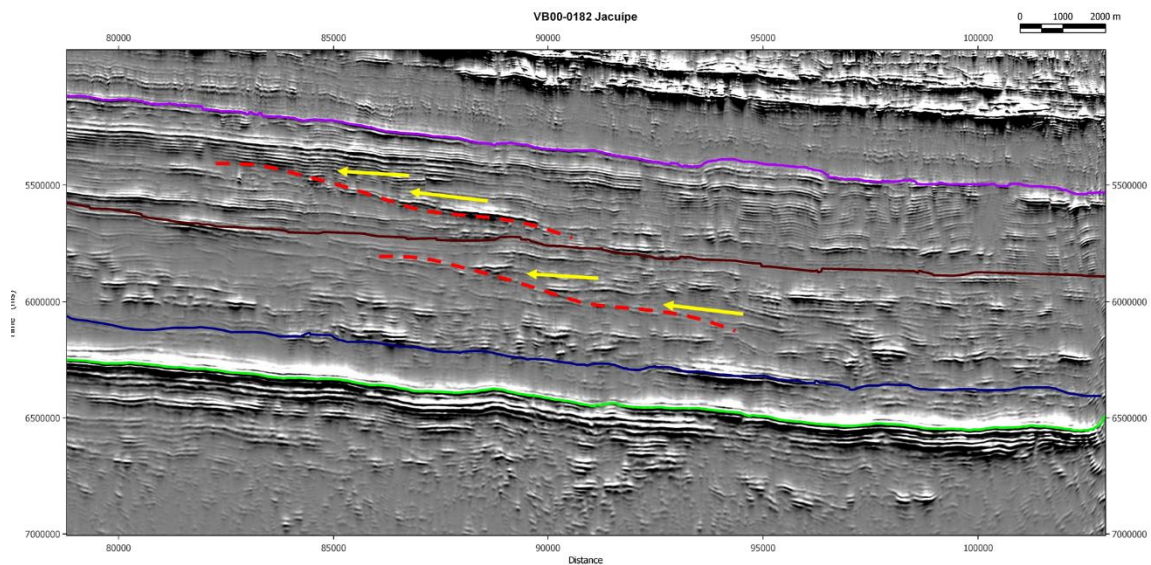


Figura 35: Atributo pseudo-relief evidenciando os preenchimentos de canais da sismofácies 1, bem como terminações em onlap na sismofácies 3 (setas amarelas sobre superfície vermelha).

Assim como na linha VB-0200 em Sergipe, os atributos cosseno de fase e fase instantânea colaboraram entre si para a delimitação e caracterização das sismofácies em Jacuípe. Através do atributo cosseno de fase, nota-se a configuração interna dos refletores, onde atenta-se para as fácies 1, apresentando uma configuração em *hummocky* e também para a visualização de refletores antes pouco notáveis, como na fácies 4, cuja configuração interna é caótica, ocorrendo eventuais refletores bem delineados internamente (Fig. 36).

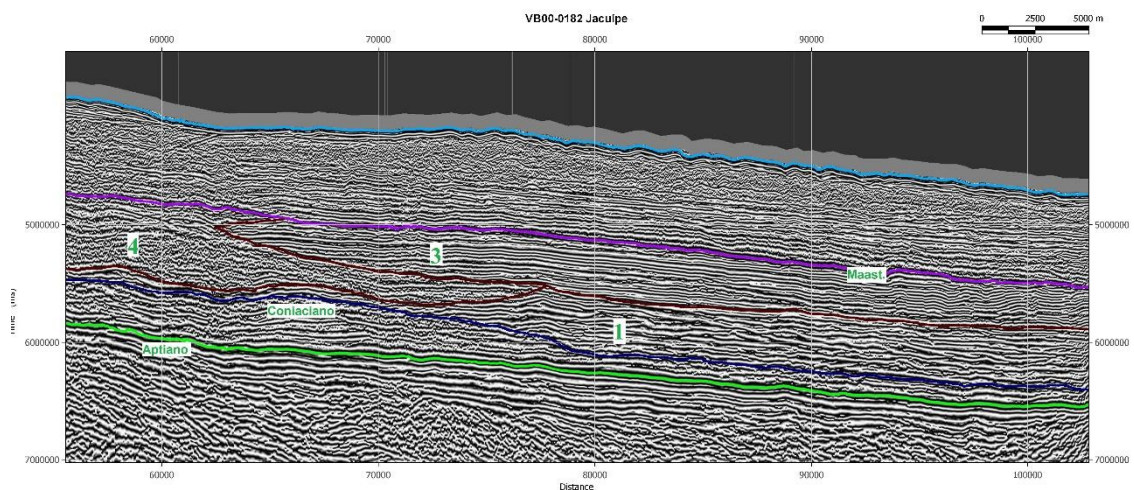


Figura 36: Visibilidade da configuração interna dos refletores através da aplicação do atributo cosseno de fase.

Com o auxílio do atributo fase instantânea, observa-se na fácies 1 uma geometria externa com refletores em *onlap* sobrejacentes em uma sucessão de cortes, evidenciando diferentes fases de sedimentação e, na fácies 3, nota-se uma gradação na espessura dos refletores, subdividindo esta em duas sequências, que são demarcados por uma superfície de erosão e preenchimento, caracterizada pela reflexão negativa e configuração caótica (Fig. 37).

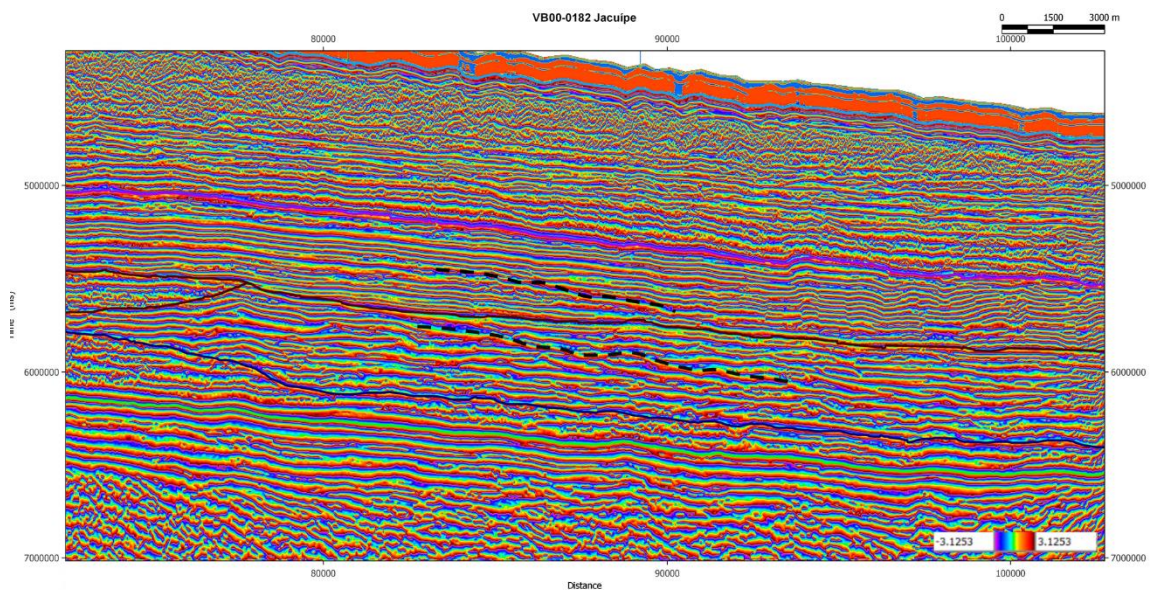


Figura 37: Aplicação do atributo fase instantânea evidenciando feições de corte e preenchimento nas sismofácies 1 e 3 em Jacuípe.

### 5.2.1. Comparativo entre as linhas de Sergipe e Jacuípe

Após a interpretação sísmica e avaliação da aplicabilidade dos atributos sísmicos nas linhas *dip* de Sergipe e Jacuípe, pode-se elaborar um quadro comparativo entre estas demonstrando as características visuais para cada sismofácies, com exceção da sismofácies 2, que não ocorre em Jacuípe. Esta síntese comparativa é apresentada nas tabelas 3 a 5.

Tabela 3: Comparativo visual entre as sismofácies 1 na bacia de Sergipe e Jacuípe, em fase normal e utilizando os atributos RMS, pseudo-relief, fase instantânea e cosseno de fase.

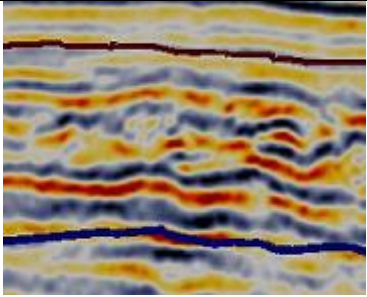
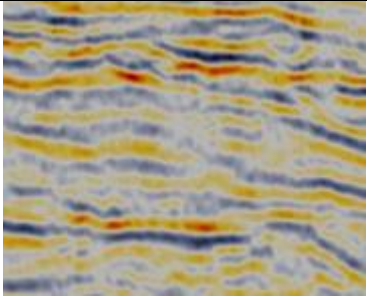
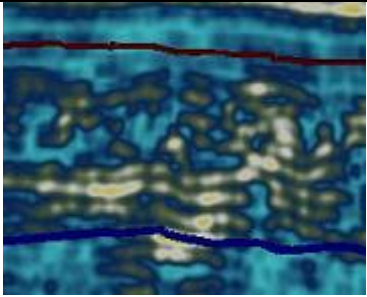
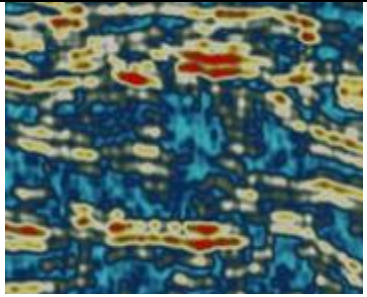
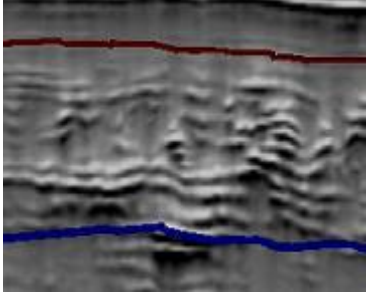
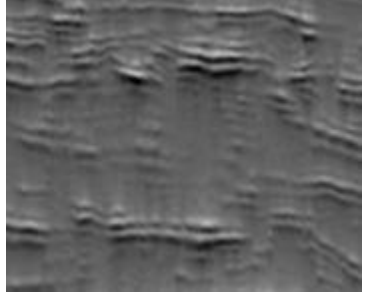
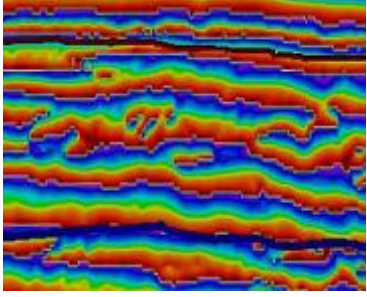
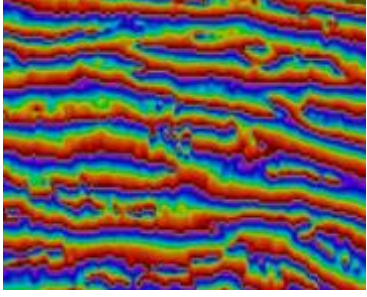
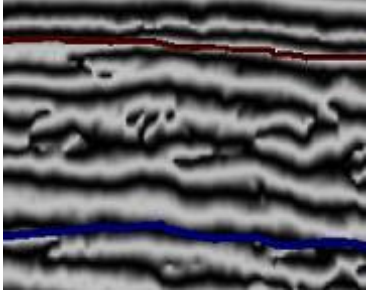
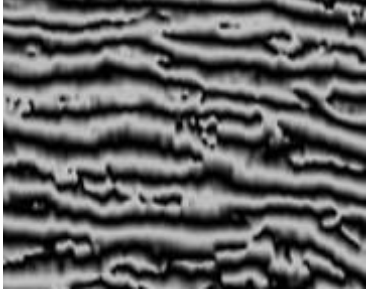
Sismofácies 1		
	VB 0200 - Sergipe	VB 0182 - Jacuípe
Fase Normal		
RMS		
Pseudo-Relief		
Fase Instantânea		
Cosseno de Fase		

Tabela 4: Comparativo visual entre as sismofácies 3 na bacia de Sergipe e Jacuípe, em fase normal e utilizando os atributos RMS, pseudo-relief, fase instantânea e cosseno de fase

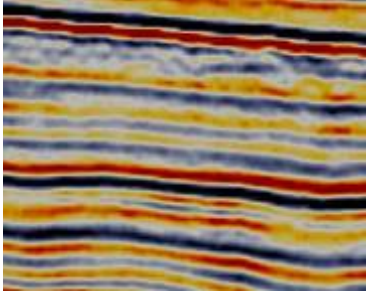
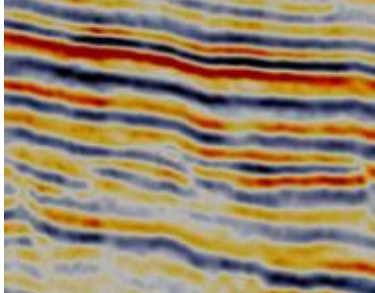
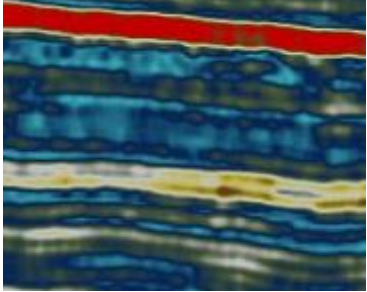
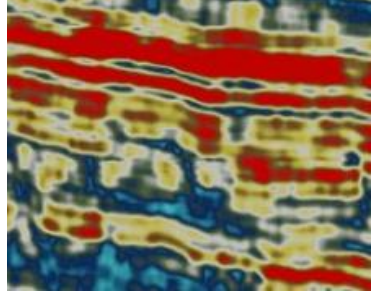
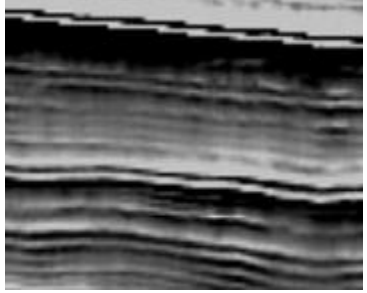
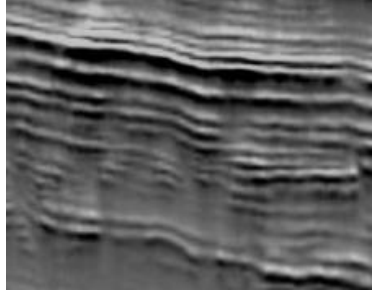
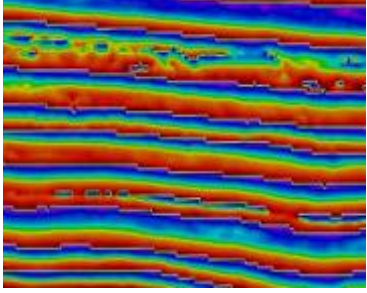
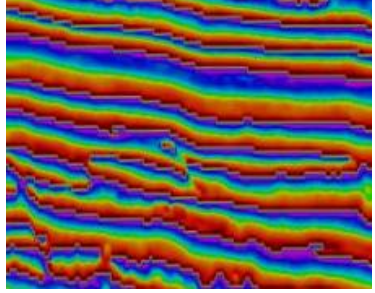
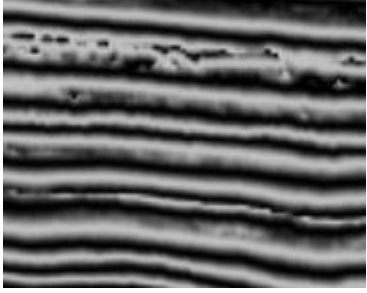
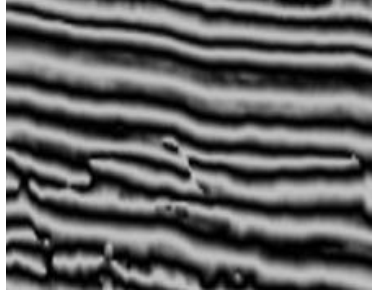
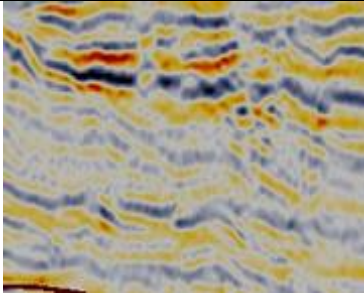
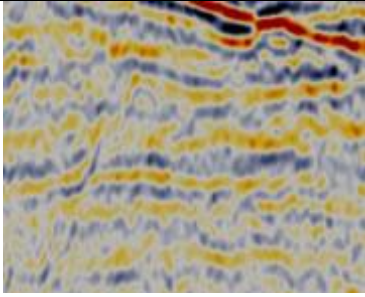
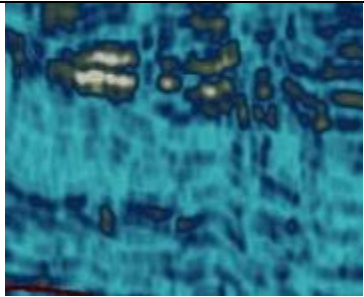
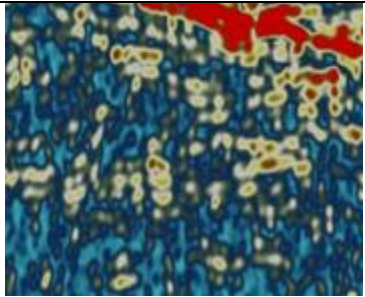
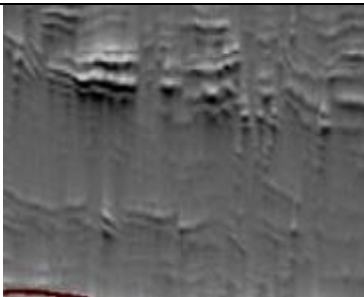
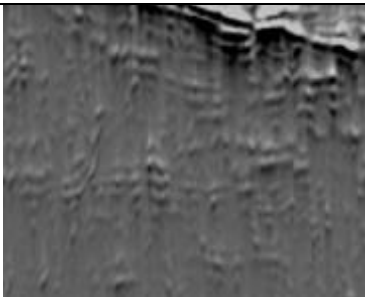
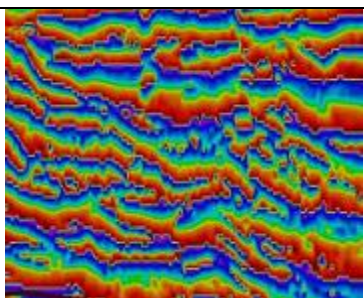
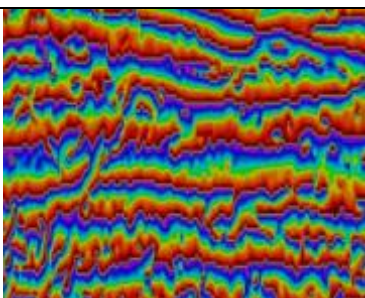
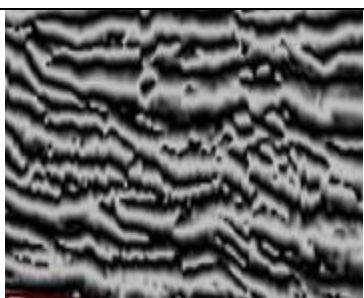
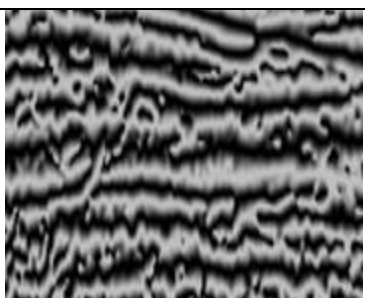
Sismofácies 3		
	VB 0200 - Sergipe	VB 0182 - Jacuípe
Fase Normal		
RMS		
Pseudo-Relief		
Fase Instantânea		
Cosseno de Fase		



Tabela 5: Comparativo visual entre as sismofácies 4 na bacia de Sergipe e Jacuípe, em fase normal e utilizando os atributos RMS, pseudo-relief, fase instantânea e cosseno de fase.

Sismofácies 4		
	VB 0200 - Sergipe	VB 0182 - Jacuípe
Fase Normal		
RMS		
Pseudo-Relief		
Fase Instantânea		
Cosseno de Fase		

## 6. CONCLUSÕES

Após a análise regional entre as linhas sísmicas trabalhadas na região sul da bacia de Sergipe-Alagoas e norte de Jacuípe, pode-se observar a continuidade estratigráfica lateral no que diz respeito à fase drifte das duas bacias. Observa-se uma mudança expressiva da profundidade do embasamento, bem como da espessura do pacote sedimentar sobreposto, devido ao paleoalto estrutural de Jacuípe, entretanto, este não interfere de maneira considerável a sedimentação ocorrida no período Cretáceo Superior.

Numa análise regional de cada bacia, foram observadas quatro diferentes sismofácies, enumeradas de 1 a 4, de acordo com suas características distintas. A sismofácies 2, entretanto, ocorre localmente apenas em Sergipe, não sendo observada em Jacuípe.

A sismofácies 1 e 2, são as mais passíveis de ocorrência de depósitos turbidíticos, pois além de sobrepor imediatamente a discordância sub-formação Calumbi, em Sergipe, e sub-formação Urucutuca, em Jacuípe, e marcarem a transição para o período de regressão marinha, são nessas fácies que se encontram feições geométricas e características sísmicas típicas de depósitos turbidíticos.

Os atributos sísmicos de fase instantânea e cosseno de fase tiveram importância fundamental para a análise destas fácies. O atributo de fase instantânea foi essencial para a delimitação de sequências e geometria externa de corpos através da observação da continuidade e terminações de refletores, denotando feições erosivas de corte e preenchimento, canais e leques. O cosseno de fase, por sua vez, tornou possível uma melhor visualização do pacote como um todo, evidenciando configurações internas dos refletores em cada sismofácies, como neste caso caótica e *hummocky*, comuns na ocorrência de turbiditos.

Os atributos de amplitude, RMS e *pseudo-relief*, colaboraram não apenas na visualização de limites entre sismofácies, mas principalmente para evidenciar

o preenchimento em feições erosivas. É importante destacar, entretanto, que em nenhuma das fácies supracitadas, tem-se anomalias de amplitude relevantes, apresentadas em *bright spots* com o RMS, que seriam características da presença de hidrocarbonetos, por exemplo.

Apesar do destaque para as sismofácies 1 e 2, não é descartada a ocorrência de depósitos turbidíticos nas sismofácies 3 e 4, uma vez que estes depósitos são registrados por toda a extensão da carta estratigráfica destas bacias a partir do Neocretáceo, ainda que em menor escala.

Na sismofácies 3, por exemplo, observa-se amplitudes anômalas em Sergipe, evidenciadas pelos atributos RMS e pseudo-relief, que ocorrem em forma de lentes, em meio aos refletores contínuos e paralelos, típicos de sedimentação pelítica. Em Jacuípe, esta fácies é erodida e marca a transição para o Paleoceno, apresentando localmente refletores caóticos, sobretudo nas superfícies erodidas e preenchidas, como mostra o atributo de fase instantânea. Na sismofácies 4, pouco visível devido à amplitude, os atributos de fase ganham maior destaque. Em Sergipe, observa-se um intenso falhamento, e em Jacuípe, uma configuração interna completamente caótica. Esta fácies se desenvolveu por uma influência tanto tectônica, na ocorrência de cinturões gravitacionais, como ígnea, com o registro local de refletores com amplitude anômala em meio ao pacote.

## Referências Bibliográficas

ANP (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS) (org.). **BACIA DE JACUÍPE**: Sumário Geológico e Setores em Oferta, Décima Terceira Rodada de Licitações. [S. l.], 2015. Disponível em: [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round\\_13/areas\\_oferecidas\\_r13/Sumarios\\_Geologicos/Sumario\\_Geologico\\_Bacia\\_Jacuipe\\_R13.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round_13/areas_oferecidas_r13/Sumarios_Geologicos/Sumario_Geologico_Bacia_Jacuipe_R13.pdf), 2015. Acesso em: 1 jun. 2020.

ANP (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS) (org.). **BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS**: Sumário Geológico e Setores em Oferta, Décima Quinta Rodada de Licitações. [S. l.], 2017. Disponível em: [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round15/Mapas/Sumario\\_Geologico\\_R15\\_SEAL.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Round15/Mapas/Sumario_Geologico_R15_SEAL.pdf), 2017. Acesso em: 31 ago. 2020.

ANP (AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS) (org.). **BACIA DE JACUÍPE**: Sumário Geológico e Setores em Oferta, Décima Sexta Rodada de Licitações. [S. l.], 2019. Disponível em: [http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Bienio/Mapas\\_R16/Sumario\\_Geologico\\_R16\\_Jacuipe.pdf](http://rodadas.anp.gov.br/arquivos/Bienio/Mapas_R16/Sumario_Geologico_R16_Jacuipe.pdf), 2019. Acesso em: 27 jul. 2020.

ASMUS, H. E.; BAISCH, P. R. Geological evolution of the brazilian continental margin. **Journal of International Geoscience**, v.4, 1983.

BARNES, A. E. **Handbook of Poststack Seismic Attributes**. Society of Exploration Geophysicists. 2016. 256p.

BASSETTO, M.; MOHRIAK, W.U.; VIEIRA, I.S. Modeling of deep water structures in the Sergipe/Alagoas and Jacuípe Basins, in the Northeastern Brazilian Margin: an integration of potential field and seismic data. *In*: AAPG INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION, 1998. **Resumos**. Rio de Janeiro: AAPG, 1998.

BULHÕES, E. M.; AMORIM, W. N. Princípio da sismocamada elementar e sua aplicação à técnica volume de amplitudes (TecVA). In: 9TH INTERNATIONAL CONGRESS OF THE BRAZILIAN GEOPHYSICAL SOCIETY & EXPOGEF, 2005. **Paper presentation**. Salvador, 2005.

CAMPELO, R. C. Integração de métodos geofísicos na caracterização de um limite entre as bacias de Sergipe-Alagoas e Jacuípe. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 9., 2005, Salvador. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geofísica, 2005.

CAMPOS NETO, O. d. P. A.; LIMA, W. S.; CRUZ, F. E. G. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, 2007.

CHOPRA, S., MARFURT, K. J. **Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization**. Society of Exploration Geophysicists, 2007.

COELHO, A. C. M. Q. **Metodologia integrada de exploração de petróleo utilizando gravimetria e interpretação sísmica para a identificação de reservatórios fraturados. Estudo de caso na Bacia de Sergipe-Alagoas**. 2017. 104 f. Tese (Doutorado em Análise de Bacias e Faixas Móveis) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

D'ÁVILA, R., PAIM, P. Mecanismos de transporte e deposição em turbiditos. In: NETTO, R. G., Paim, P. S. G., Faccini, U. F., **Geometria, arquitetura e heterogeneidades de corpos sedimentares - Estudo de Casos**. Editora Unisinos, 2003. 1 ed., p. 93-121.

GORDON, A.; DESTRO, N.; HEILBRON, M. The Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift and Associated Atlantic Continental Margin Basins. In: **SÃO Francisco Craton, Eastern Brazil, Regional Geology Reviews**. Switzerland: Springer International Publishing, 2017. p. 171-185.

GRADDI, J. C. S. V.; NETO, O. P. A. C.; CAIXETA, J. M. Bacia de Jacuípe. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, p. 417-421, 2007.

MENESES, A. R. A. S. **Estudo Teórico de Atributos Sísmicos em Dados Sísmicos de Reflexão**. 2010. 86 f. Monografia (Curso de Graduação em Geofísica) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, ago. 2010.

MILANI, E. J.; BRANDAO, J. A. S. L.; ZALAN, P. V.; GAMBOA, L. A. P. Petróleo na margem continental brasileira: geologia, exploração, resultados e perspectivas. **Revista Brasileira de Geofísica**, v.18, n.3, pp.352-396, 2000.

MILANI, E. J.; RANGEL, H. D.; BUENO, G. V.; STICA, J. M; WINTER, W. R.; CAIXETA, J. M.; PESSOA-NETO, O. C. Bacias Sedimentares Brasileiras – Cartas Estratigráficas. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.183-205., 2007.

MOHRIAK, W.U.; RABELO, J.H.L. Sísmica profunda nas bacias marginais brasileiras: integração megaregional e resultados preliminares em Sergipe-Alagoas e Jacuípe. In: SEMINÁRIO DE INTERPRETAÇÃO EXPLORATÓRIA, 2., 1994, Rio de Janeiro. **Trabalhos técnicos**. Rio de Janeiro: PETROBRAS, 1994. p. 246-251.

MOHRIAK, W. U.; BASSETO, M.; VIEIRA, S. I. Crustal architecture and tectonic evolution of the Sergipe-Alagoas and Jacuibe basins, offshore northeastern Brazil. **Tectonophysics**, v. 288, p. 199-220, 1998.

MOHRIAK, W. U. Bacias sedimentares da margem continental brasileira. In: BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. (org.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: textos, mapas & SIG**. Brasília: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2003. p. 87-143.

MORAES, M. A. S., BLASKOVISC, P. R., PARAIZO, P. L. B. Arquitetura de reservatórios de águas profundas. **Boletim de Geociências Petrobrás**, Rio de Janeiro, v.14, n.1, p.7-25, 2006.

MORAIS, T. A. **Análise sismoestratigráfica dos complexos turbidíticos do Cretáceo Superior da Bacia de Campos**. 2017. 83 f. Dissertação (Mestrado em

Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

MUTTI, E. **Turbidite Sandstones**. 1992. 275 f. AGIP, Istituto di Geologia, Università di Parma, Milan, 1992.

NETTO, A.S.T.; FILHO, J.R.W.; FEIJÓ, F.J. Bacias de Jacuípe, Camamu e Almada. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, Rio de Janeiro, 8, n. 1, pp. 173-184, 1994.

NORMARK, W. R.; POSAMENTIER, H.; MUTTI, E. Turbidite systems: state of the art and future directions. **Review of Geophysics**, 31 (2), p. 91-116, 1993.

NUNES, C. O. **Tectonic and stratigraphic evolution of southern Jacuípe basin based on seismic sequence stratigraphy**. 2018. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

OJEDA, H. A. O., Structural framework, stratigraphy and evolution of Brazilian marginal basins. **AAPG, Bull**, v. 66, pp. 732-749. USA, 1982.

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

PONTE, F. C.; DAUZACHER, M. V.; PORTO, R. Origem e acumulação de petróleo nas bacias sedimentares do Brasil. In: I Congresso Brasileiro de Petróleo, IBP, 1978, Rio de Janeiro – RJ, **Anais**. Rio de Janeiro: 1978. p. 121-146.

POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. Deep water turbidites and submarine fans. In: **Facies Model Revisited**. 2006, p. 397-520.

SEVERIANO RIBEIRO, H. J. P. 2001. **Estratigrafia de Sequências – Fundamentos e aplicações** (org.). Editora Unisinos, 428 p.

SOUZA, P. M. S., **Análise de atributos sísmicos e visualização 3D na caracterização de reservatório usando o software *Opendtect***. 2015. 54 f. Monografia (Curso de Graduação em Engenharia de Exploração e Produção de Petróleo) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Macaé, 2015.

SOUZA-LIMA, W.; ANDRADE, E. J.; BENGTON, P.; GALM, P. C. **A Bacia de Sergipe-Alagoas: evolução geológica, estratigrafia e conteúdo fóssil**. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix, 2002. 34 p. Edição especial, 1.

TANER, M. T. Seismic attributes: **Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder**, V. 26, no. 7. 2001.

WANDERLEY FILHO, J. R.; GRADDI, J. C. S. V. Estilos Estruturais da Bacia de Jacuípe - BA. In: V Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, 1995, Gramado-RS, **Anais**. Gramado: 1995. p. 325-326.