

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SETOR DE CIÊNCIA DA TERRA  
CURSO DE GEOLOGIA**

**LETICYA EMANOELLY TARCZEWSKI**

**CONTROLES REGIONAIS NAS TERMINAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS EM *ONLAP*  
NA FORMAÇÃO CALUMBI, ÁGUAS PROFUNDAS DA SUB-BACIA DE SERGIPE**

**CURITIBA**

**2023**

**LETICYA EMANOELLY TARCZEWSKI**

**CONTROLES REGIONAIS NAS TERMINAÇÕES ESTRATIGRÁFICAS EM *ONLAP*  
NA FORMAÇÃO CALUMBI, ÁGUAS PROFUNDAS DA SUB-BACIA DE SERGIPE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Geologia da Universidade Federal do  
Paraná como requisito parcial à obtenção do  
grau de Bacharel em Geologia.

Orientador(a): Prof. Dr. Fernando Farias Vesely

**CURITIBA**

2023

*“O que sabemos é uma gota, o  
que ignoramos é um oceano.”*

**(Isaac Newton)**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, por desde pequena me incentivarem a estudar e me mostrarem a importância do estudo. Em especial, à minha mãe Luciana, que esteve ao meu lado em todos os momentos difíceis e em todos os desânimos, me dando o apoio para continuar. Mãe, você é minha inspiração para ser cada dia melhor, em honra a ti chegarei longe. Aos meus melhores amigos, Abílio, Bruna, Luana e Rebeca, por todo o apoio, vocês são um presente que a vida me deu. Sou imensamente grata pelo nosso companheirismo e amizade que foi para além da faculdade e da escola.

À Universidade Federal do Paraná, instituição pública e gratuita com um ensino de alta qualidade, por me proporcionar a oportunidade de ser Geóloga. Agradeço a PRAE, por garantir minha permanência dentro da universidade através das bolsas do PROBEM, sem isso não chegaria até aqui.

Ao CNPq e à Fundação Araucária, pelo auxílio através das bolsas de iniciação científica. À Petrobras pelo financiamento do projeto TRAPAS e à ANM e ao Geopost pelo acesso aos dados. Agradeço ao LABAP pela oportunidade de aprender muito durante meus 3 anos e meio neste laboratório fantástico. Agradeço ao meu orientador Fernando Farias Vesely, pela confiança no meu trabalho e pelo apoio durante o TCC e minhas iniciações científicas.

A todos os professores que passaram pela minha vida, desde o ensino fundamental, durante o ensino técnico e ao longo da graduação por me transmitirem o conhecimento necessário para chegar até aqui. As aulas fascinantes e as vivências transmitidas despertaram em mim o desejo do conhecimento e do constante aperfeiçoamento. Agradeço aos campos durante a graduação, por ter tido essa vivência prática da Geologia, e pela possibilidade de conhecer muitos lugares e paisagens que jamais imaginava, obrigada a todos os envolvidos para que eles acontecessem.

À Deus, pelas inúmeras graças em minha vida, por ter me apresentado as pessoas certas nos momentos certos e por me dar a força necessária para persistir mesmo nos momentos mais difíceis. Agradeço também a todos que, mesmo que indiretamente, me apoiaram nessa jornada. E, por fim, agradeço a mim mesma por todas as noites mal dormidas, por todo o esforço e dedicação e por não ter desistido do meu maior sonho, ser Geóloga!

## RESUMO

A Bacia Sergipe-Alagoas é uma bacia da margem continental brasileira com uma área total de 44.370 km<sup>2</sup> e está situada em parte dos estados de Sergipe e Alagoas. Essa bacia é produtora de petróleo em águas rasas e na última década foram descobertas acumulações de óleo e gás em sua porção mais profunda. Os reservatórios de águas profundas são arenitos turbidíticos neocretáceos da Formação Calumbi. A Formação Calumbi foi depositada na forma de uma cunha progradante, tendo um traçamento estratigráfico, em que o fechamento ocorre por *onlap* contra o talude. Compreender os fatores geológicos regionais que controlam essas terminações pode auxiliar na prospecção de novas acumulações de petróleo associadas a trapas estratigráficas. Assim, este trabalho teve como objetivo delinear a geometria de horizontes sísmicos e as terminações em *onlap* associadas a esses horizontes, mediante interpretação sísmica 2D em escala regional. Foi possível mapear uma superfície chave, que define a base da Formação Calumbi na área de interesse e quatro padrões de terminações em *onlap* nesta superfície, sendo, (A) associado ao paleotalude regional da bacia, (B) associados a falhas, (C) associados a paleocanais e (D) associados à corpos vulcânicos. As terminações em *onlap* associadas ao paleotalude predominam e refletem uma paleofisiografia muito similar à fisiografia atual da margem continental, controlam regionalmente as acumulações de petróleo, que seguem o padrão de orientação das terminações em *onlap*.

**Palavras-chave:** Mapeamento sísmico, Terminações em *onlap*, Formação Calumbi.

## ABSTRACT

The Sergipe-Alagoas Basin is a basin on the Brazilian continental margin with a total area of 44,370 km<sup>2</sup> and is located in parts of the states of Sergipe and Alagoas. This basin is an oil producer in shallow waters, and in the last decade, oil and gas accumulations have been discovered in its deeper portion. The deep-water reservoirs consist of Neocretaceous turbidite sandstones of the Calumbi Formation. The Calumbi Formation was deposited in the form of a prograding wedge, with a stratigraphic trapping mechanism where closure occurs through onlap of turbidites against the slope. Onlap termination in turbiditic deposits can have significant implications for the interpretation of depositional environments and the analysis of sedimentary sequences. Understanding the regional geological factors that control these terminations can help in prospecting for new oil accumulations associated with stratigraphic traps. Therefore, the objective of this work was to delineate the geometry of seismic horizons and the onlap terminations associated with these horizons through 2D seismic interpretation at the regional scale. It was possible to map a key surface that defines the base of the Calumbi Formation in the area of interest and four patterns of onlap terminations on this surface, namely (A) associated with paleoslopes, (B) associated with faults, (C) associated with paleochannels, and (D) associated with volcanic bodies. Onlap terminations associated with paleoslopes predominate and show a paleophysiography similar to the modern physiography of the continental margin and regionally controlling oil accumulations that follow the orientation logic of onlap terminations.

**Keywords:** *Seismic mapping, Onlap terminations, Calumbi Formation.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.....	1
Figura 2: Mapa de localização e compartimentação da Bacia de Sergipe-Alagoas. (Fonte: Antonietto, 2015).....	4
Figura 3: Carta Cronoestratigráfica da Sub-Bacia de Sergipe. (Fonte: Campos Neto <i>et al.</i> , 2007).....	6
Figura 4: Tipos de correntes de turbidez conforme o tipo de massa de sedimentos. (Fonte: Portugal, 2005).....	11
Figura 5: Elementos arquitetônicos que compõem sistemas turbidíticos. (Fonte: Garcia <i>et al.</i> , 2015).....	12
Figura 6: Corte do perfil do poço 1-BRSA-851-SES, na porção que marca o limite da Formação Calumbi. O perfil sônico é indicado pela seta preta e a base da Formação Calumbi pela seta vermelha.....	14
Figura 7: Configurações da gridagem para geração dos mapas de contorno estrutural.....	15
Figura 8: Configurações da interpolação TIN.....	16
Figura 9: Configurações para a geração do mapa de isópacas.....	17
Figura 10: Configuração das classes do mapa de isópacas.....	18
Figura 11: Mapa das linhas sísmicas do levantamento VB00 interpretadas.....	19
Figura 12: Linha sísmica VB00-008 interpretada (Exagero vertical 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.....	19
Figura 13: Linha sísmica VB00-015 interpretada (Exagero vertical 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.....	20
Figura 14: Linha sísmica VB00-202 interpretada (Exagero vertical 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.....	20
Figura 15: Linha sísmica VB00-021 interpretada (Exagero vertical 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.....	21

Figura 16: (A) Mapa de contorno estrutural, em tempo, da superfície de base da Formação Calumbi; (B) Mapa de contorno estrutural, em tempo, do horizonte intra-Calumbi; (C) Mapa de isópacas, em tempo.....	22
Figura 17: Terminações em <i>onlap</i> mapeadas, em planta.....	23
Figura 18: Terminações em <i>onlap</i> associadas a falhas.....	23
Figura 19 A e B: Terminações em <i>onlap</i> associadas a paleotaludes. Em vermelho a base da Formação Calumbi, em azul as terminações <i>onlap</i> e em preto as falhas. Exagero vertical 1,3x.....	24
Figura 20 A e B: Terminações em <i>onlap</i> associadas a corpos vulcânicos. Em vermelho a base da Formação Calumbi e em amarelo as terminações <i>onlap</i> Exagero vertical 1,3x.....	24
Figura 21 A e B: Terminações em <i>onlap</i> associadas a paleocanais. Em vermelho a base da Formação Calumbi e em amarelo as terminações <i>onlap</i> Exagero vertical 1,3x.....	25
Figura 22: (A) Correlação lateral em planta das terminações em <i>onlap</i> associadas a paleotaludes regionais e (B) sua relação com o mapa de contorno estrutural.....	26

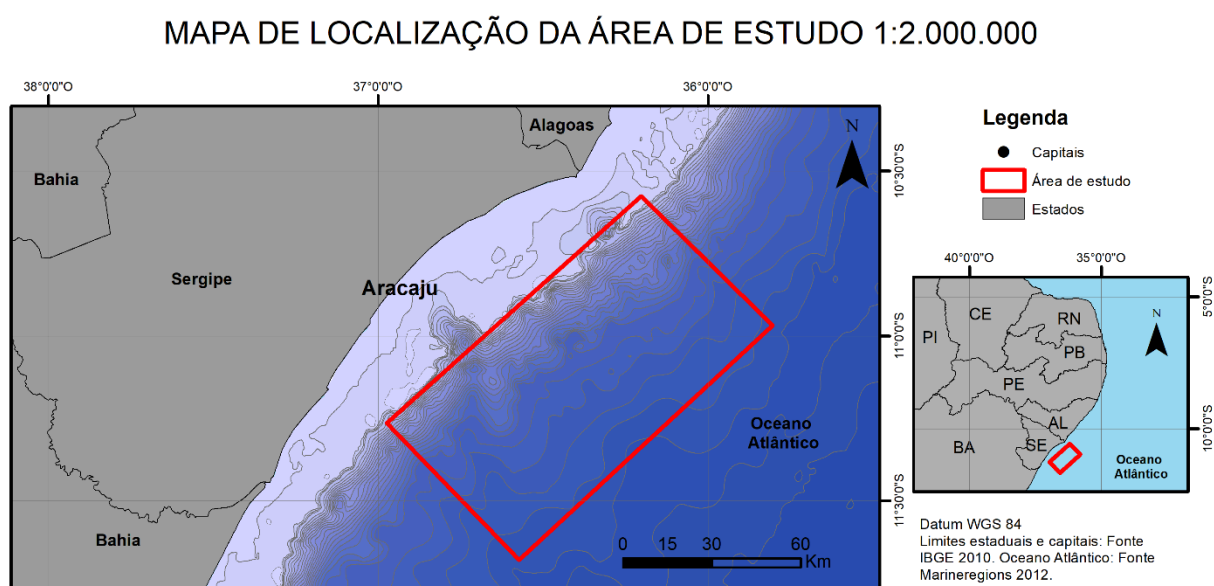
## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. CONTEXTO E PROBLEMA	1
1.1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E HIPÓTESE	1
1.1.2 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJETIVOS	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS	3
2.2 FORMAÇÃO CALUMBI	8
2. HISTÓRICO DO LEVANTAMENTO SÍSMICO	8
2.4 MÉTODO DE SÍSMICA DE REFLEXÃO	10
2.4.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO	10
2.4.2 INTERPRETAÇÃO	10
2.5 AMBIENTES DEPOSICIONAIS DE ÁGUA PROFUNDA	11
2.5 ELEMENTOS DOS SISTEMAS TURBIDÍTICOS	12
3. MATERIAIS E MÉTODOS	13
3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS	13
3.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	13
3.3.1 TRAÇADO DOS HORIZONTES SÍSMICOS E TERMINAÇÕES <i>ONLAP</i>	13
3.3.2 GERAÇÃO DE MAPAS DE CONTORNO ESTRUTURAL E ISÓPACAS	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
6. CONCLUSÕES	27
REFERÊNCIAS	28

# 1. INTRODUÇÃO

A Bacia de Sergipe-Alagoas é alvo de exploração de petróleo em sua porção *onshore* e *offshore* (Mohriak, 2003). Em águas profundas, os reservatórios são os arenitos neocretáceos da Formação Calumbi (Haeser, 2017) que terminam em *onlap* contra o paleotalude. A Formação Calumbi é pouco estudada nas águas profundas da bacia, uma vez que a exploração nessa região é recente. Assim, é importante e necessário compreender as terminações em *onlap* dos reservatórios da Formação Calumbi a partir da interpretação sísmica em escala regional.

A área de estudo está localizada ao sul do estado de Sergipe, no Brasil, mais especificamente em sua porção *offshore*. A figura 1 apresenta o mapa de localização da área de interesse.



**Figura 1:** Mapa de localização da área de estudo.

## 1.1. CONTEXTO E PROBLEMA

### 1.1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO E HIPÓTESE

A Sub-Bacia de Sergipe é produtora de petróleo em águas rasas (Mohriak, 2003). Na última década foram descobertas reservas de óleo e gás na porção mais profunda da bacia (Haeser, 2017). Segundo Haeser (2017), a porção mais profunda possui como reservatório os arenitos turbidíticos neocretáceos da Formação

Calumbi e, como rochas geradoras, os folhelhos albiano-cenomanianos da Formação Riachuelo e os folhelhos cenomaniano-turonianos da Formação Cotinguiba.

A Formação Calumbi foi depositada na forma de uma cunha progradante (Cainelli, 1994). O trapeamento dos campos de petróleo é do tipo estratigráfico, em que o fechamento ocorre por *onlap* contra o talude. O fechamento em *onlap* em depósitos turbidíticos pode ter implicações significativas na interpretação dos ambientes de deposição e na análise de sequências sedimentares (García *et al.*, 2015). As terminações em *onlap* podem indicar a evolução da forma do talude ao longo do tempo e fornecer informações sobre as mudanças na taxa de sedimentação e na subsidência da bacia (D'Ávila *et al.*, 2008).

O conhecimento sobre o trapeamento estratigráfico em *onlap* ainda é incipiente no contexto da Sub-Bacia de Sergipe. Assim, a compreensão desses padrões de trapeamento estratigráfico pode auxiliar na diminuição dos riscos dos prospectos exploratórios. Espera-se que mediante o mapeamento sísmico regional de horizontes estratigráficos na parte profunda da Sub-Bacia de Sergipe, possa-se estabelecer relações entre fatores geológicos regionais e os padrões de terminações em *onlap*.

### **1.1.2 PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA**

O mundo ainda é muito dependente do petróleo como fonte de energia e será por muitas décadas. Segundo dados de 2019 da Agência Internacional de Energia, 31,1% da matriz energética mundial é composta de petróleo e derivados.

Atualmente, a indústria do petróleo e gás no Brasil responde por 13% do PIB nacional e 50% da oferta interna de energia, segundo a Agência Nacional de Petróleo (2023). Segundo a revista Exame em abril de 2023, o Brasil ocupa a nona posição, com uma produção diária média de 2,98 milhões de barris de petróleo, sendo 3% do mercado global. Em janeiro de 2023, a produção de petróleo no país teve um resultado mensal recorde: 3,27 milhões de barris por dia (Exame, 2023).

Esses dados revelam a forte presença do petróleo no cotidiano da sociedade. Dessa forma, são notáveis os motivos pelas quais as áreas de posse e extração do petróleo são tão cobiçadas por diversas nações, sendo cada vez mais necessárias novas técnicas e o aprimoramento desses métodos já existentes para a descoberta de jazidas de petróleo.

## **1.2. OBJETIVOS**

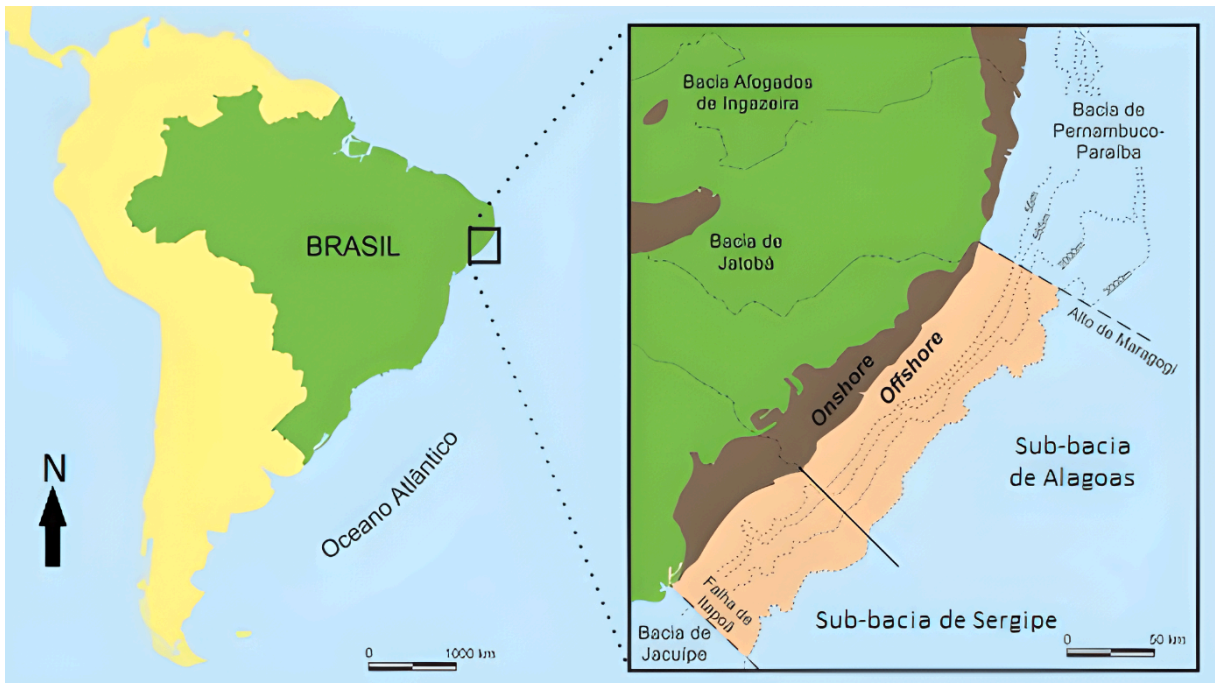
Este trabalho tem como objetivo compreender os fatores geológicos regionais que controlam as terminações em *onlap* para auxiliar na prospecção de novas acumulações de petróleo associadas a trapas estratigráficas.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 BACIA DE SERGIPE-ALAGOAS**

A Bacia Sergipe-Alagoas está localizada na margem continental nordeste do Brasil. Sua porção *onshore* abrange uma área de aproximadamente 13.000 km<sup>2</sup> e sua porção *offshore* uma área de cerca de 40.000 km<sup>2</sup> (Mohriak, 2003). Segundo Mohriak (2003), a bacia reflete um rifte assimétrico, alongado na direção NNE/SSW. A bacia Sergipe-Alagoas é delimitada pela Bacia Pernambuco-Paraíba ao norte, por intermédio do Alto de Maragogi e, a sul, pela Bacia do Jacuípe, mediante o sistema de falhas de Vaza-Barris (Mohriak, 2003; Antonietto, 2015), conforme mostra a figura 2.

É dividida em duas sub-bacias, onde a norte do alto de Japoatã está a sub-Bacia Alagoas e, ao sul deste alto encontra-se a sub-bacia Sergipe (Mohriak, 2011). Essa divisão existe devido ao fato de que as colunas estratigráficas possuem diferenças no arcabouço tectono-estratigráfico e do diacronismo dos eventos de erosão e sedimentação ocorridos ao longo de sua história evolutiva (Mohriak, 2003).



**Figura 2:** Mapa de localização e compartimentação da Bacia de Sergipe-Alagoas. (Fonte: Modificado de Antonietto, 2015).

Dentro do contexto da Sub-Bacia de Sergipe, conforme mostra a carta estratigráfica de Neto *et al.* (2007) (Figura 3). A megasequência sinrifte, datada do Neocomiano ao Barremiano, é caracterizada pelas Formações Rio Pitanga, Penedo e Barra de Itiúba, que indicam um sistema siliciclástico (Mohriak, 2003). Ainda segundo Mohriak (2003), a megasequência transicional, no Barremiano e Aptiano, é composta pela Formação Poção, Formação Coqueiro Seco e a Formação Maceió. E, ainda nessa fase transicional, no Aptiano depositam-se duas sequências evaporíticas, designadas pelos Membros Paripueira e Ibura, da Formação Muribeca (Mohriak, 2003).

No Albiano, é estabelecida a megasequência pós-rifte, sendo uma sequência marinha devido à uma subsidência termal, onde foi instalada uma plataforma carbonática (Mohriak, 2003). Entre o Albiano e Santoniano ocorre uma transgressão marcada pela Formação Riachuelo, com ocorrências de arenitos proximais, carbonatos de plataforma e folhelhos distais (Mohriak, 2003). A partir do Campaniano até o Recente, estabeleceu-se uma regressão onde depositou-se a Formação Calumbi (Mohriak, 2003), composta por fácies de menor energia. Na

porção terrestre da bacia os sedimentos mais antigos foram cobertos pela Formação Barreiras (Mohriak, 2003).

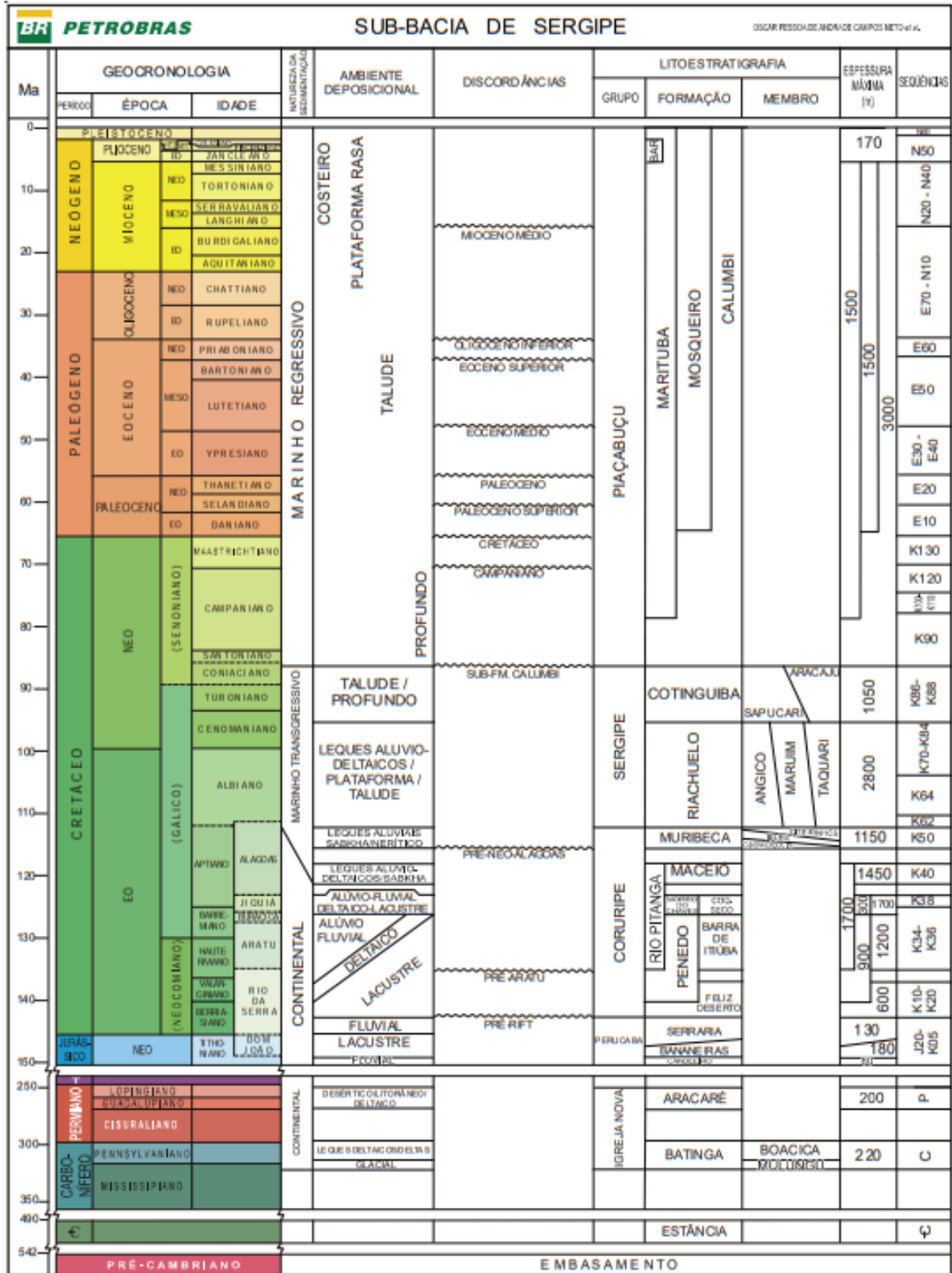
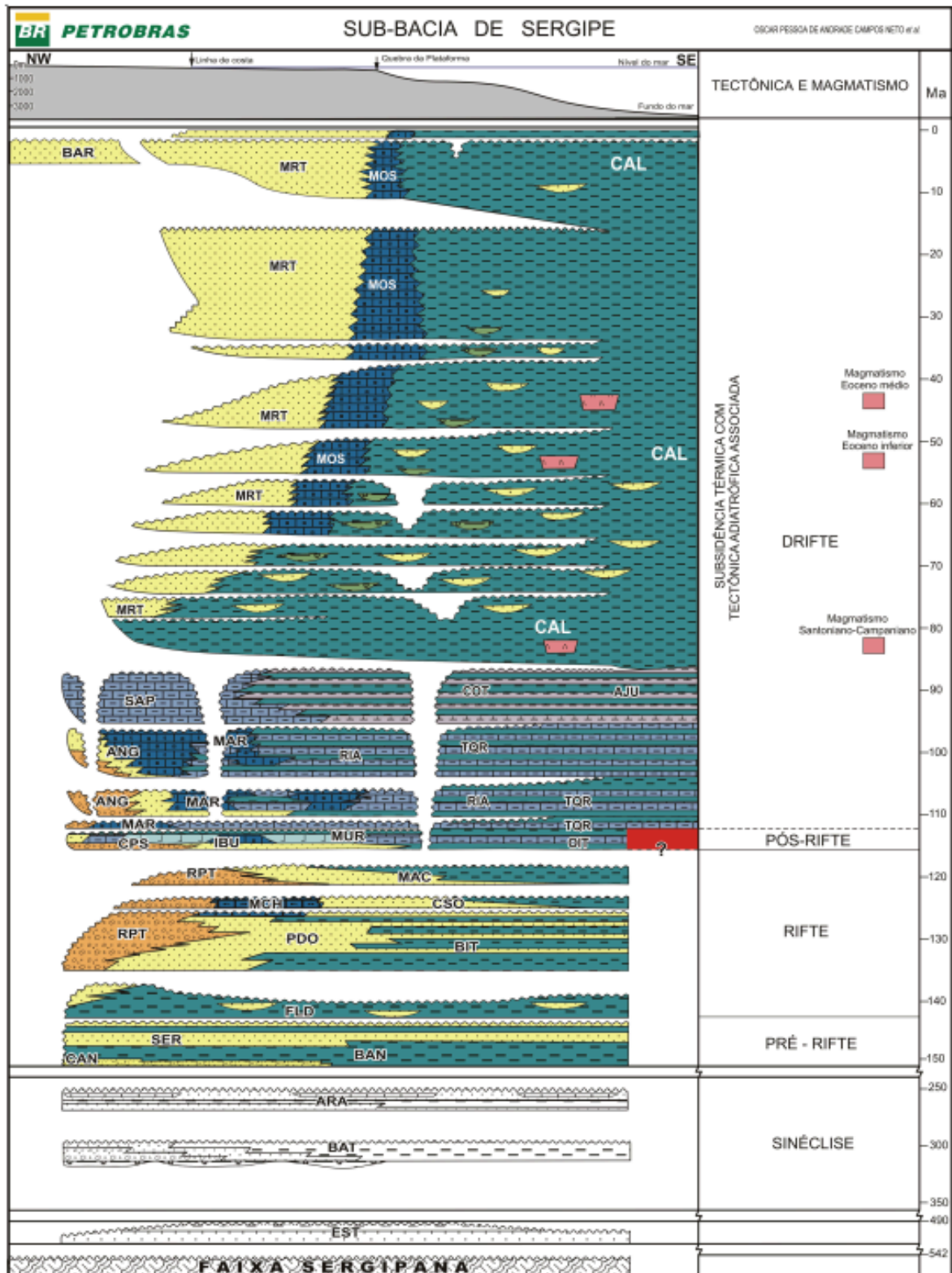


Figura 3: Carta Cronoestratigráfica da Sub-Bacia de Sergipe. (Fonte: Campos Neto et al., 2007).



**Figura 3:** Carta Cronoestratigráfica da Sub-Bacia de Sergipe. (Fonte: Campos Neto *et al.*, 2007).  
 Cont.

## 2.2 FORMAÇÃO CALUMBI

As rochas da Formação Calumbi são predominantemente compostas por argilitos e siltitos intercalados com lentes de arenitos e calcários (Cainelli, 1994). Esses sedimentos foram depositados em um ambiente marinho, caracterizado por águas profundas e condições sedimentares de baixa energia (Cainelli, 1994). Esta formação foi depositada numa fase de regressão marinha do Campaniano ao recente (Ponte *et al.*, 1978).

Segundo Cainelli (1994), as rochas da Formação Calumbi contêm depósitos formados por fluxos gravitacionais de sedimentos, incluindo correntes de turbidez. As correntes de turbidez são correntes de densidade que se movem ao longo do fundo do oceano, carregando sedimentos suspensos (Veeken e Van Moerkerken, 2013). Quando atingem a base do talude, esses fluxos sofrem uma diminuição de velocidade e os sedimentos começam a se depositar (Veeken e Van Moerkerken, 2013).

A deposição dos sedimentos no sistema turbidítico ocorre num padrão de intercalações de sedimentos finos, areia e cascalho (Cainelli, 1994). Ao se depositarem em uma superfície inclinada, como o talude submarino, as camadas se fecham em *onlap* (Veeken e Van Moerkerken, 2013). Esse fechamento ocorre quando camadas de sedimentos são depositadas sucessivamente em uma inclinação crescente em direção à base do talude submarino (Cainelli, 1994).

O processo de fechamento em *onlap* varia a partir da relação entre a taxa de sedimentação, a taxa de subsidência da bacia e a geometria do talude submarino (Veeken e Van Moerkerken, 2013). Se a taxa de sedimentação excede a taxa de subsidência, os sedimentos se acumulam e se sobrepõem uns aos outros, formando camadas inclinadas em direção à base do talude submarino, resultando em um padrão de fechamento em *onlap* (Cainelli, 1994).

Rochas ígneas ocorrem nas porções mais distais das sub-bacias de Sergipe sob águas de mais de 2.000 metros de profundidade (Cainelli, 1992), constituindo corpos rochosos compactos e coniformes, com poucos quilômetros quadrados de área, interpostos as rochas sedimentares (Cainelli, 1992). A verdadeira natureza e idade destas rochas são desconhecidas, mas os truncamentos e deformações

provocados nos refletores sísmicos permitem interpretar uma idade turoniana (Cainelli, 1992).

## **2.3 HISTÓRICO DO LEVANTAMENTO SÍSMICO**

O levantamento sísmico fornece informações da geologia de subsuperfície, tendo como base a refração e reflexão de ondas elásticas nas interfaces que separam as rochas de diferentes composições (Herron, 2011).

A indústria do petróleo tem uma longa história de levantamentos sísmicos para explorar e descobrir reservas de petróleo e gás natural (Herron, 2011). O primeiro levantamento sísmico marítimo ocorreu em 1921, onde utilizaram-se explosões controladas em barcos e a medição das ondas sísmicas refletidas para mapear a geologia do subsolo marinho (Guimarães e Freitas, 2003).

Já na década de 1950, a indústria do petróleo começou a utilizar os primeiros sistemas de reflexão sísmica de alta qualidade, que combinavam fontes de energia, como explosivos e geradores de ar comprimido, com geofones para registrar as ondas sísmicas refletidas (Guimarães e Freitas, 2003).

A técnica de perfilagem sísmica vertical foi desenvolvida na década de 1960, permitindo a obtenção de informações detalhadas sobre a subsuperfície (Guimarães e Freitas, 2003). Essa técnica se tornou fundamental para a exploração *offshore* e em águas profundas (Guimarães e Freitas, 2003).

Na década de 1980 a indústria do petróleo começou a utilizar técnicas de sísmica 3D, que forneciam uma imagem mais detalhada e precisa do subsolo (Chopra e Marfurt, 2012). Isso melhorou significativamente a precisão na identificação de reservatórios de petróleo e gás (Chopra e Marfurt, 2012).

A aplicação de técnicas avançadas de processamento e interpretação sísmica, como inversão de dados, modelagem numérica e análise de amplitude de onda completa, permitiu uma compreensão mais precisa das propriedades dos reservatórios de petróleo e gás a partir dos anos 2000 (Chopra e Marfurt, 2012).

Desde então, houve contínuos avanços em tecnologia, como o uso de levantamentos sísmicos 4D para monitorar mudanças nos reservatórios ao longo do tempo e o desenvolvimento de métodos sísmicos de imagem de alta resolução, como a sísmica de alta frequência e a sísmica de resolução ultrassônica (Chopra e Marfurt, 2012).

## **2.4 MÉTODO DE SÍSMICA DE REFLEXÃO**

### **2.4.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO**

A aquisição dos dados é feita a partir da geração de ondas elásticas artificiais através da dinamite ou de canhões de ar comprimido (Herron, 2011). Quando a onda sísmica se propaga através da subsuperfície, sofre variações ao atingir o limite entre duas rochas de características físicas distintas (Herron, 2011). Parte da onda incidida é refletida e retorna à superfície, onde é captada por sensores e as informações são gravadas em sismógrafos (Veeken e Van Moerkerken, 2013). A outra parte da onda é refratada para o meio inferior (Veeken e Van Moerkerken, 2013).

Sabe-se que uma porção de energia refletida é proporcional à diferença de impedância acústica entre os dois meios (Herron, 2011). Assim, quanto maior o contraste de impedância maior a porção que é refletida. Impedância acústica é definida como o produto entre a velocidade compressional e a densidade da rocha (Veeken e Van Moerkerken, 2013).

Os dados adquiridos são processados para atenuar as distorções geradas pelo processo de aquisição (Herron, 2011). São corrigidos os problemas relacionados aos equipamentos, variações topográficas e de referencial (Herron, 2011). Os dados são organizados a fim de construir uma grade tridimensional (Herron, 2011). Para ressaltar as feições de interesse geológico, tratam-se os dados em *softwares* a partir de filtros, recortes tridimensionais de imagens, inversão de dados e aplicação de cálculos matemáticos de acordo com o interesse do estudo (Herron, 2011).

## **2.4.2 INTERPRETAÇÃO**

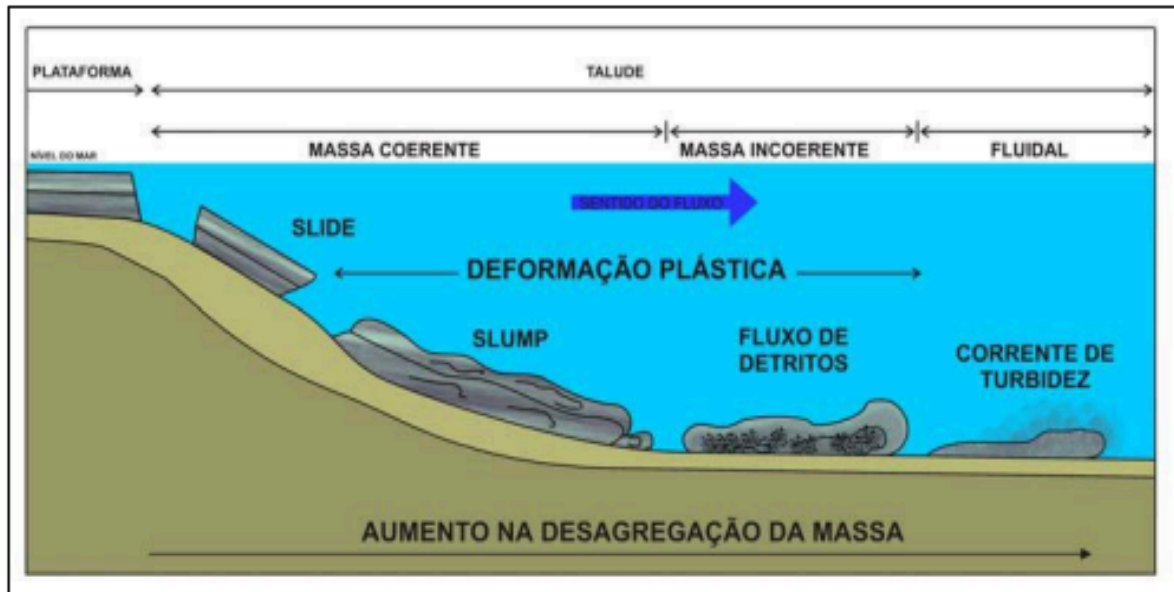
Na interpretação, os dados sísmicos são analisados e é criado um modelo que representa a geologia da área do levantamento (Herron, 2011). A interpretação pode ser estrutural, com ênfase na determinação das interfaces entre as camadas e falhas, ou estratigráfica, onde o foco é a compreensão do empilhamento das camadas (Veeken e Van Moerkerken, 2013).

Durante a interpretação são definidos os horizontes sísmicos, ou seja, um conjunto de reflexões contínuas de intensidades similares com continuidades laterais (Veeken e Van Moerkerken, 2013). Essas reflexões indicam a existência de uma interface entre duas camadas de sedimentos (Veeken e Van Moerkerken, 2013), e registram antigas superfícies deposicionais, ou seja, horizontes cronoestratigráficos.

Assim, um horizonte sísmico se manifesta em um dado sísmico como refletores em picos ou vales de amplitudes sísmicas que aparecem de forma consistente (Veeken e Van Moerkerken, 2013). São superfícies de fácil identificação com base na distinção de padrões de empilhamento, padrões de amplitude e de feições deposicionais e erosivas (Veeken e Van Moerkerken, 2013). Sismofácies, de acordo com Brown Jr. e Fisher (1977), que caracterizada como uma unidade tridimensional, tendo uma área definida, constituída por reflexões sísmicas com características que a distingue de fácies adjacentes. Uma sismofácies é o registro nas reflexões sísmicas de regiões geológicas, com base em fatores como o tipo de litologia, estratificações, características deposicionais, entre outros (Brown Jr. e Fisher, 1977).

## **2.5 AMBIENTES DEPOSICIONAIS DE ÁGUA PROFUNDA**

Os fluxos gravitacionais são processos de ressedimentação, em geral, associados a fluxos de detritos, principalmente nas porções proximais dos sistemas turbidíticos, em áreas mais íngremes (D'Ávila *et al.*, 2008). São gerados pelo transporte de materiais instáveis da plataforma ou do talude, conforme ilustrado pela figura 4 de Portugal (2005). Os fluxos gravitacionais de sedimentos podem ser divididos em fluxos de detritos, fluxos de grãos, correntes de turbidez e fluxos fluidizados (D'Ávila *et al.*, 2008; Portugal, 2005).



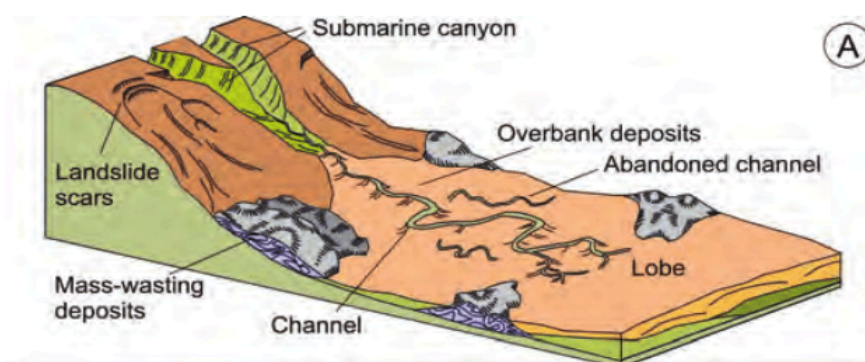
**Figura 4:** Tipos de fluxo de massa conforme o tipo de massa de sedimentos. (Fonte: Portugal, 2005).

Os fluxos de detritos possuem alta viscosidade, não desenvolvendo estruturas trativas, onde depositam-se sedimentos mal selecionados, maciços, de matriz fina que sustentam clastos de diferentes tamanhos (Portugal, 2005). Fluxos de grãos estão relacionados às correntes de turbidez de alta densidade, neles os sedimentos são mantidos em suspensão pela colisão entre os grãos. As correntes de turbidez estão associadas a tempestades, eventos catastróficos de curta duração ou grandes cheias fluviais (Portugal, 2005).

Os fluxos de detritos estão intimamente associados aos fluxos de massa e essa associação é denominada de depósito de transporte de massa (DTM) ou depósitos caóticos (D'Ávila *et al.*, 2008). Eles são divididos em: (1) *Slump* (escorregamento), que possui mais deformação interna e envolve um fluxo gravitacional com material pouco consolidado, podendo gerar dobras e rompimento de camadas; (2) *Slide* (deslizamento), que possui pouca deformação interna e envolve material mais litificado, o qual move isoladamente ou em grupo, sempre em contato com os sedimentos abaixo, concentrando o cisalhamento, na maioria das vezes, na base do deslizamento (Portugal, 2005).

## 2.5 ELEMENTOS DOS SISTEMAS TURBIDÍDICOS

Um sistema turbidítico é definido como uma unidade estratigráfica que registra uma série de eventos erosivos e deposicionais geneticamente ligados (Mutti e Normark, 1987). Os principais elementos turbidíticos são cânions submarinos, canais, depósitos de *levee/overbank* e areias laminadas, conforme mostra a figura 5 de Garcia *et al.* (2015).



**Figura 5:** Elementos arquitetônicos que compõem sistemas turbidíticos. (Fonte: Garcia *et al.*, 2015).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica foi feita a partir da leitura de uma série de trabalhos realizados anteriormente na Bacia de Sergipe-Alagoas e estudos sobre depósitos turbidíticos para melhor compreender os processos deposicionais e o potencial de consolidação dos registros sedimentares encontrados em ambientes marinhos profundos. Também foram realizados estudos sobre o método sísmico e seu histórico na indústria do petróleo e sobre formas de interpretação sísmica de sistemas turbidíticos.

### 3.2 AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados sísmicos que foram utilizados neste estudo são oriundos da plataforma Geopost®, através de assinatura concedida ao Laboratório de Análise de Bacias da Universidade Federal do Paraná. O Geopost® é uma plataforma que

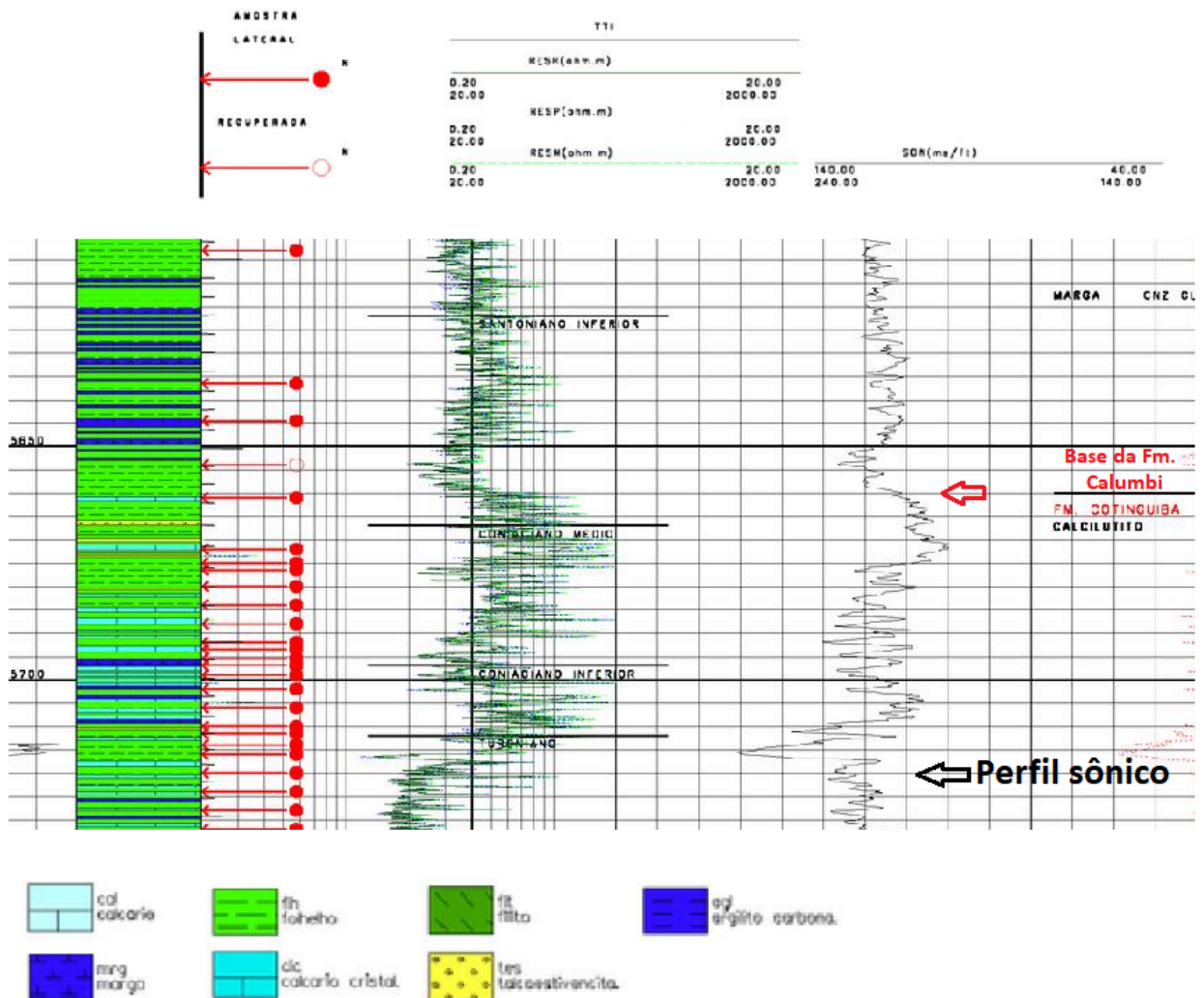
integra dados sísmicos e de poços de todo o Brasil e demais informações da indústria do petróleo, como os blocos produtores e em oferta. O conjunto de dados selecionados para o estudo são provenientes do levantamento sísmico 2D VB00.

### **3.3 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS**

#### **3.3.1 TRAÇADO DOS HORIZONTES SÍSMICOS E TERMINAÇÕES *ONLAP***

Escolheram-se dois horizontes para análise, caracterizados por sismofácies distintas quando observados em seção, os quais foram traçados manualmente dentro da plataforma Geopost©. A delimitação desses horizontes foi realizada através da observação de padrões de amplitudes, de geometria e de continuidade dos refletores.

A superfície de base interpretada foi a base da Formação Calumbi, foi definida a partir da amarração do perfil do poço 1-BRSA-851-SES (concluído em 29/11/2010) dentro da área de mapeamento (Figura 11, página 19), que também foi consultado na plataforma Geopost©. O perfil sônico do poço, que mostra o tempo de trânsito de onda, indica a base da Formação Calumbi como um horizonte marcado com um pico de contraste positivo (pico preto) seguido de um negativo (pico branco), esse limite é bastante evidente nas linhas sísmicas, conforme mostra a figura 6. Como se sabe, a Formação Calumbi é depositada até hoje. Assim, a superfície de topo mapeada, denominada “horizonte intra-Calumbi”, foi definida a partir dos critérios de sua continuidade dos refletores e da alta impedância, que facilita o traçado. Essas duas superfícies foram traçadas em cerca de 40 linhas sísmicas.



**Figura 6:** Trecho do perfil do poço 1-BRSA-851-SES, na porção que marca o limite da Formação Calumbi. O perfil sônico é indicado pela seta preta e a base da Formação Calumbi pela seta vermelha.

O reconhecimento das terminações em *onlap* foi realizado na superfície da base da Formação Calumbi, a partir da definição “*Onlap* são terminações de estratos de baixo ângulo contra uma superfície estratigráfica de ângulo maior” (Catuneanu, 2006). A partir das terminações *onlap*, foi gerado um mapa para entender a continuidade em planta dessas terminações, isso foi realizado pela plataforma Geopost®.

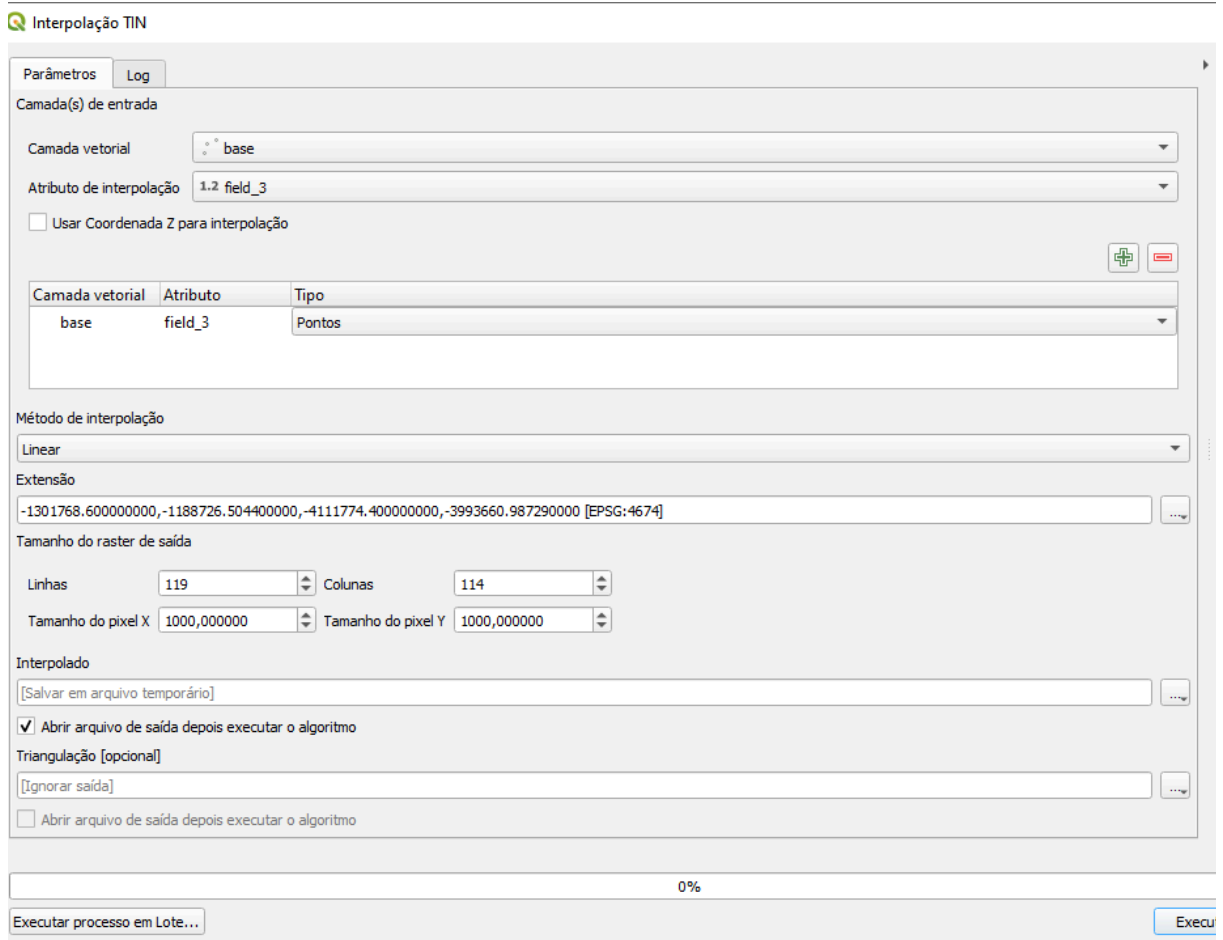
### 3.3.2 GERAÇÃO DE MAPAS DE CONTORNO ESTRUTURAL E ISÓPACAS

Após o traçado e delimitação dos horizontes, foi feita a gridagem dos dados. A gridagem é um método de atribuição de valores para determinados segmentos, constituindo uma forma de interpolação da informação (Herron, 2011). Para a criação dos mapas de contorno estrutural também foi utilizada a plataforma Geopost®, eles foram gerados a partir das configurações mostradas na figura 7. Isso foi feito para a superfície de base e de topo.



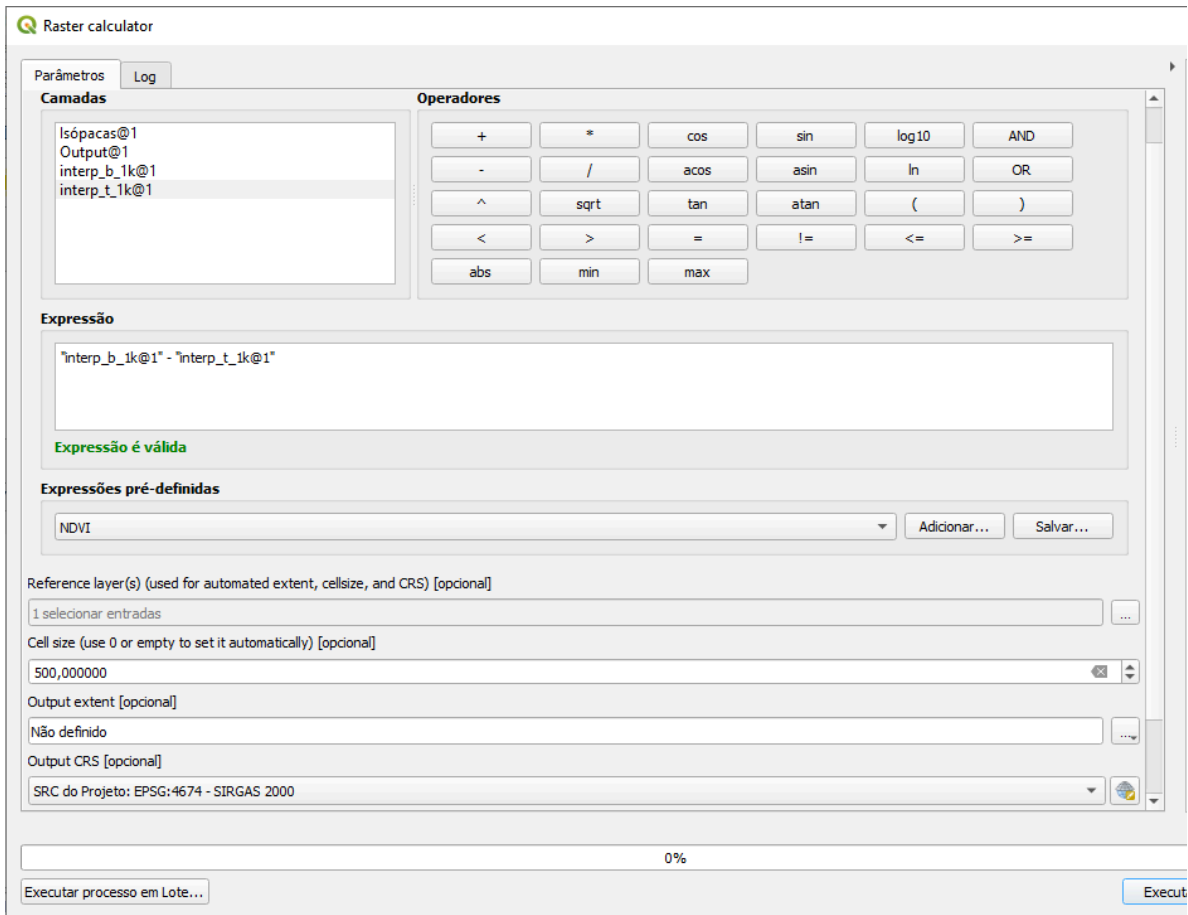
**Figura 7:** Configurações da gridagem para geração dos mapas de contorno estrutural.

Esses dois *grids* gerados foram exportados na forma *.dat* e importados no *software* gratuito QGIS, versão 3.22.10, para a geração de um mapa de isópacas. Inicialmente foi feita a interpolação dos dados de cada uma das superfícies importadas, sendo realizada a interpolação do tipo TIN, criando uma interpolação em rede triangular, com os parâmetros descritos na figura 8. A interpolação TIN utiliza pontos de amostragem para criar uma superfície formada por triângulos com base em informações do ponto de vizinho mais próximo. Foi realizado um teste com outros métodos de interpolação, porém a interpolação TIN foi o método com melhor resultado.



**Figura 8:** Configurações da interpolação TIN.

Essas superfícies geradas pela interpolação foram utilizadas para a elaboração do mapa de isópacas. Foi utilizada a ferramenta “*Raster Calculator*” do QGIS subtraindo a superfície de topo da superfície de base, conforme os parâmetros indicados na figura 9.



**Figura 9:** Configurações para a geração do mapa de isópacas.

Por fim, foram indicadas as classes do mapa de isópacas, que foram configuradas como mostra a figura 10. Vale destacar que as linhas sísmicas estão em tempo, não em profundidade, então tanto os mapas de contorno estrutural quanto o mapa de isópacas tem eixo z em tempo.

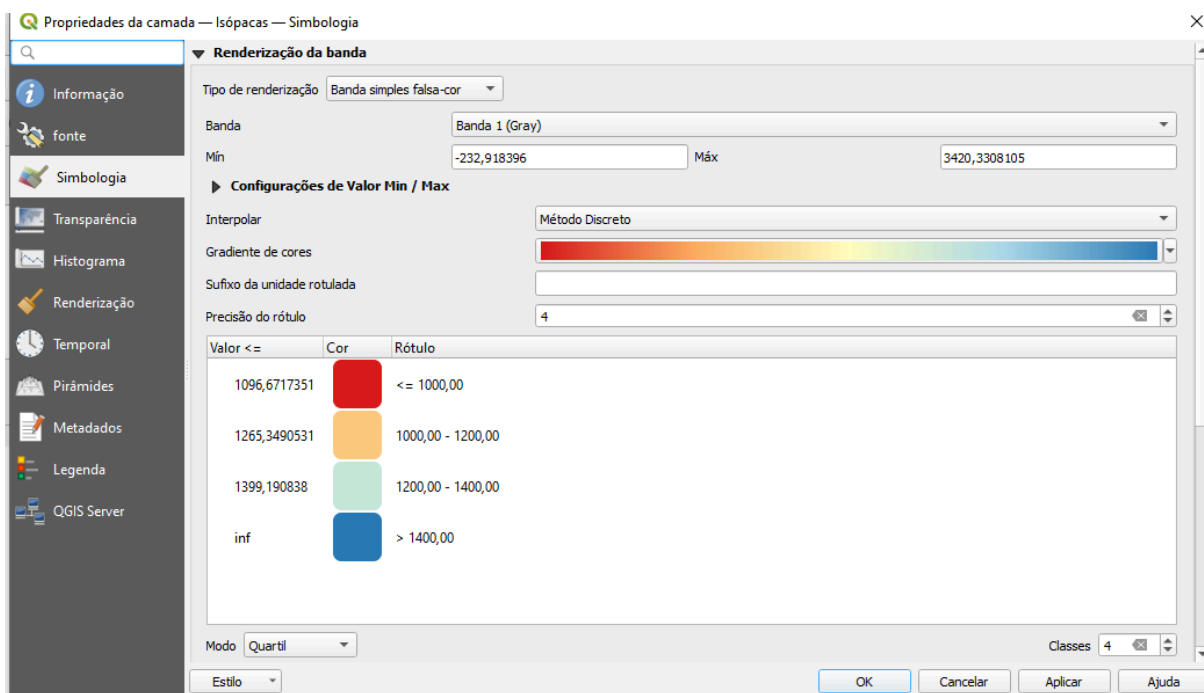


Figura 10: Configuração das classes do mapa de isópacas.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No total foram interpretadas 40 linhas sísmicas do levantamento VB00. Essas linhas interpretadas são mostradas na figura 11. É possível observar que grande parte da área mapeada tem predominância de padrões de reflexão plano-paralelos e sub-paralelos relacionados à típica fisiografia em rampa como mostra as figuras 12 e 14. Esse paralelismo acentuado e, o conseqüente baixo ângulo de terminação das reflexões, dificultou o reconhecimento de feições *onlap*.

Os refletores sub-paralelos ocorrem preenchendo geometrias pouco canalizadas a canalizadas, como mostra as figuras 13 e 15, tendo como terminação padrões em *onlap*, *downlap* e em truncamento erosivo. Os refletores com padrões sub-paralelos são os mais comuns nas seções e pode ser interpretado como preenchimento regular na parte interna do topo do canal submarino.

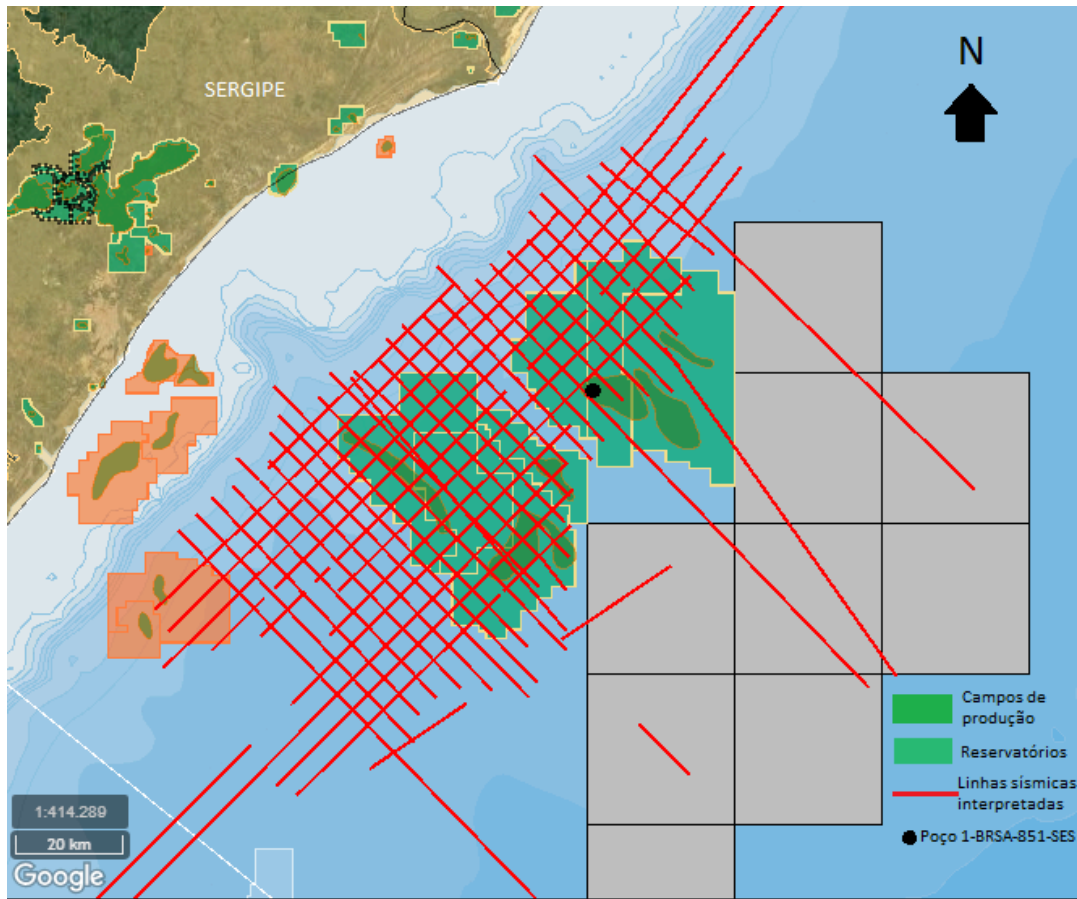
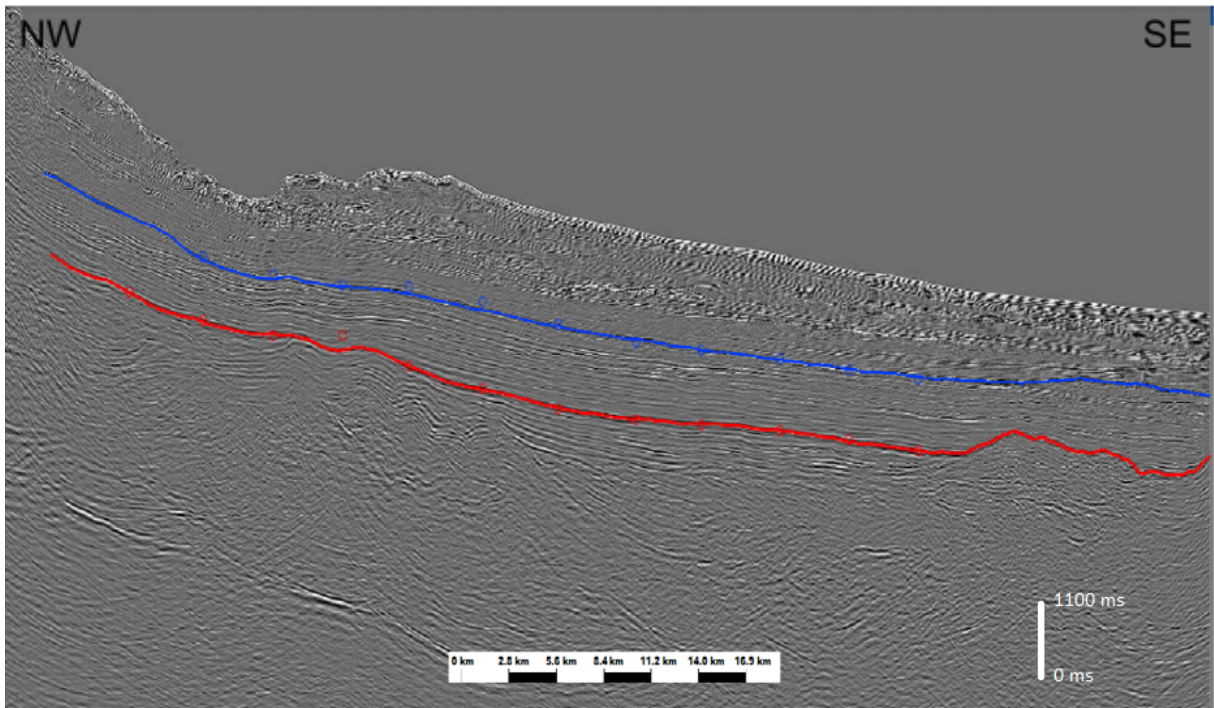
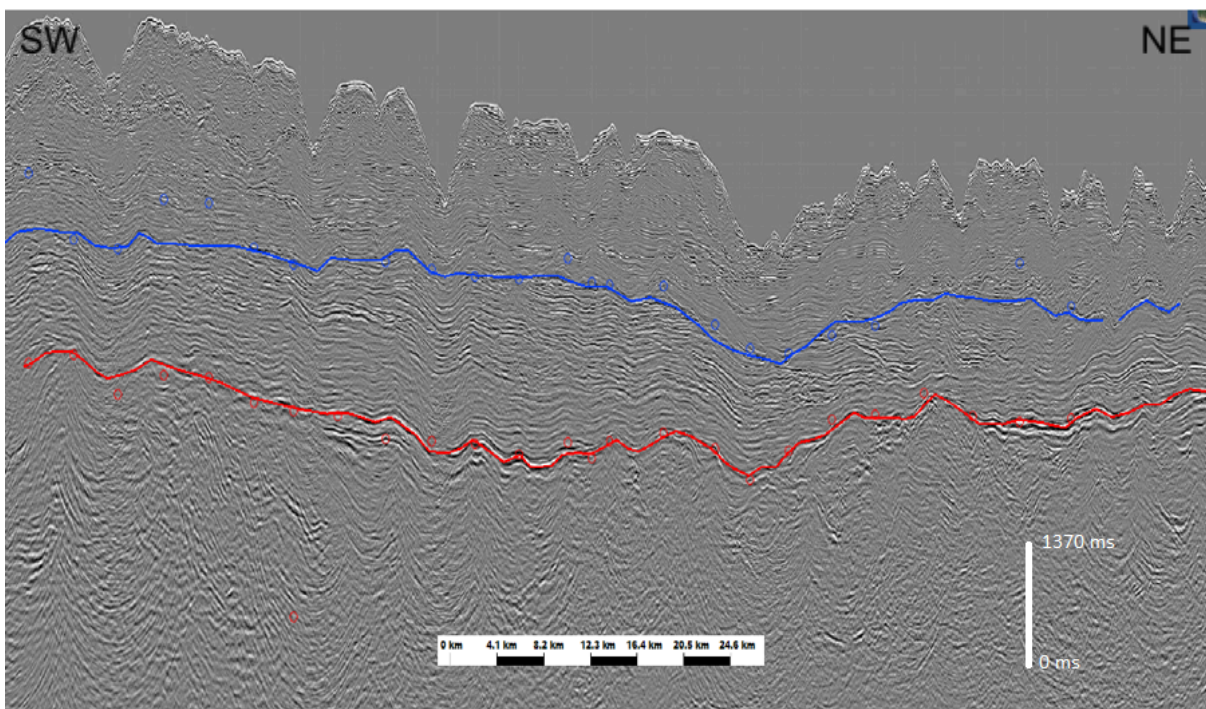


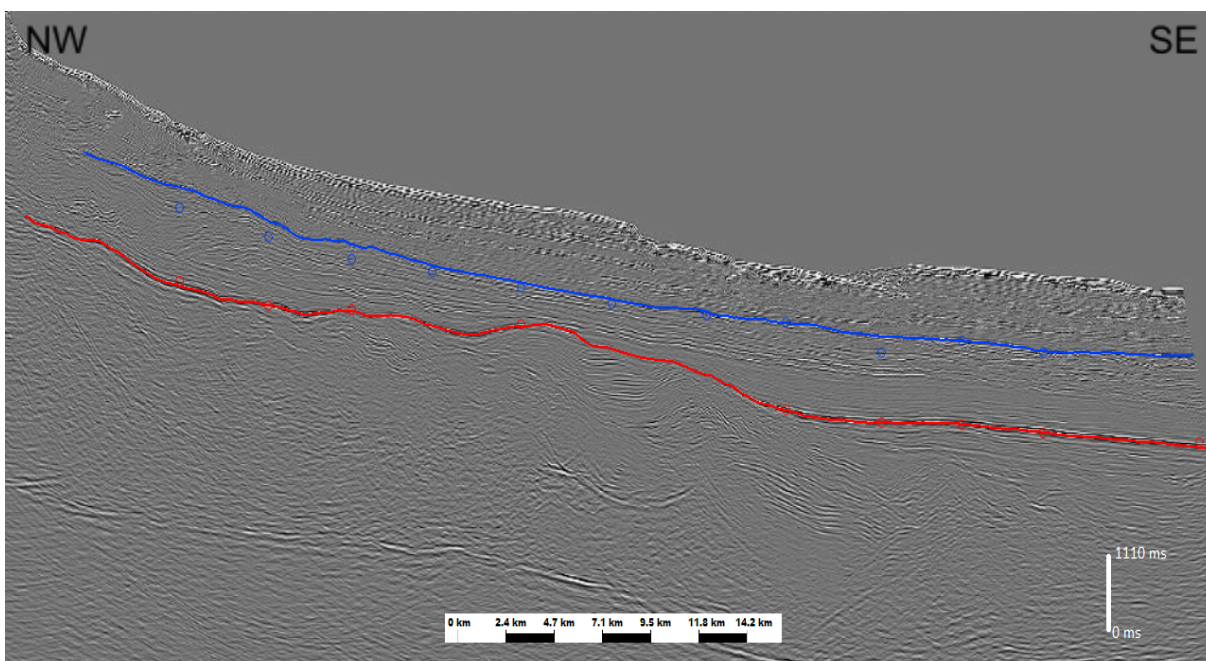
Figura 11: Mapa das linhas sísmicas do levantamento VB00 interpretadas.



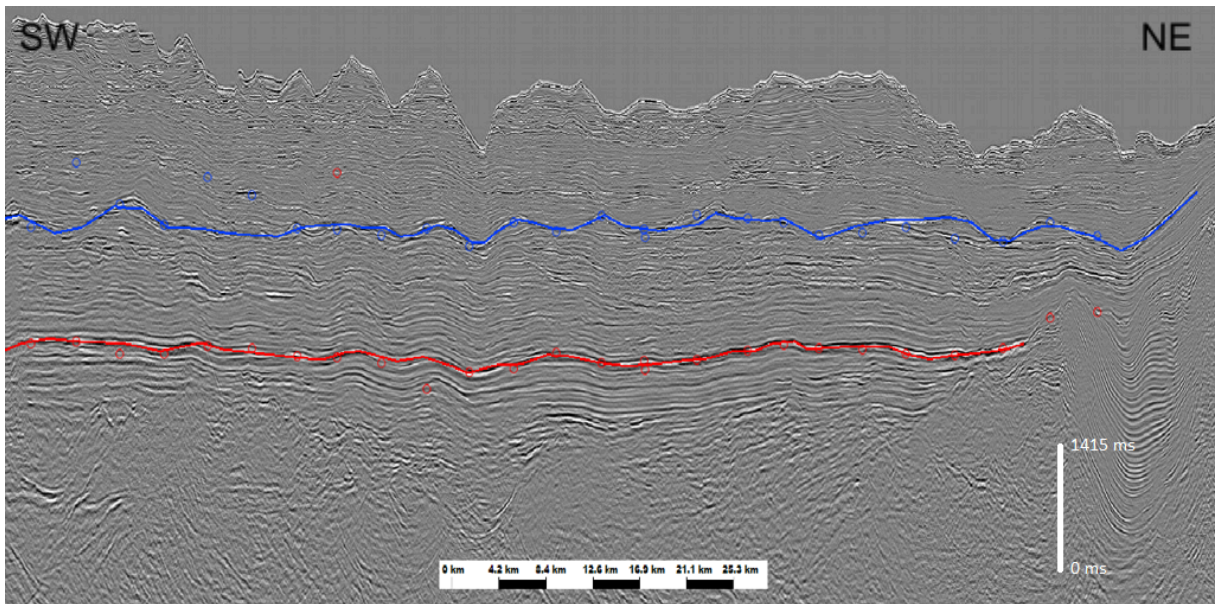
**Figura 12:** Linha sísmica VB00-008 interpretada (Exagero vertical da figura 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.



**Figura 13:** Linha sísmica VB00-015 interpretada (Exagero vertical da figura 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.



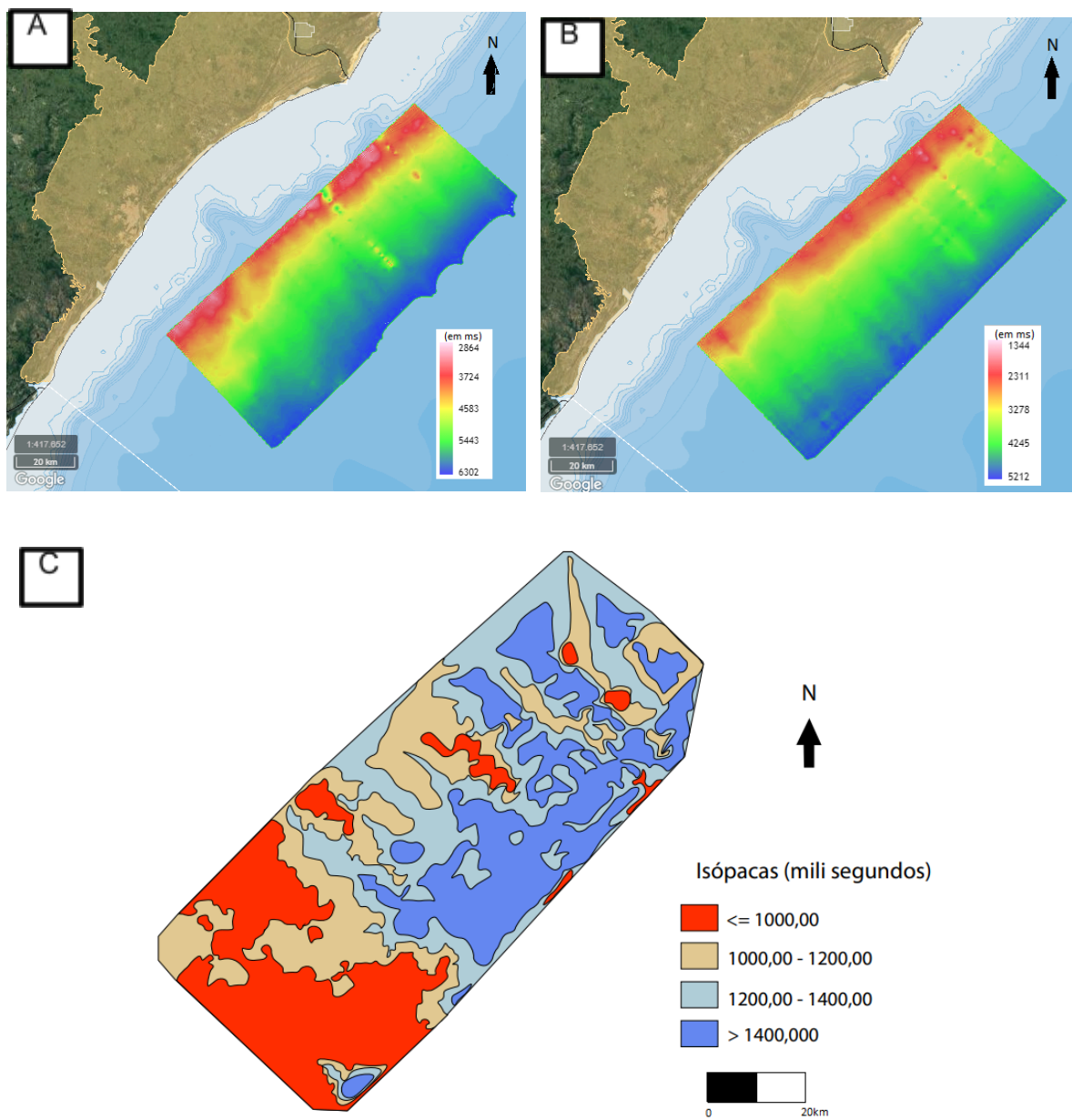
**Figura 14:** Linha sísmica VB00-202 interpretada (Exagero vertical da figura 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.



**Figura 15:** Linha sísmica VB00-021 interpretada (Exagero vertical da figura 1,3x). Em vermelho, a base da Formação Calumbi e em azul o horizonte intra-Calumbi.

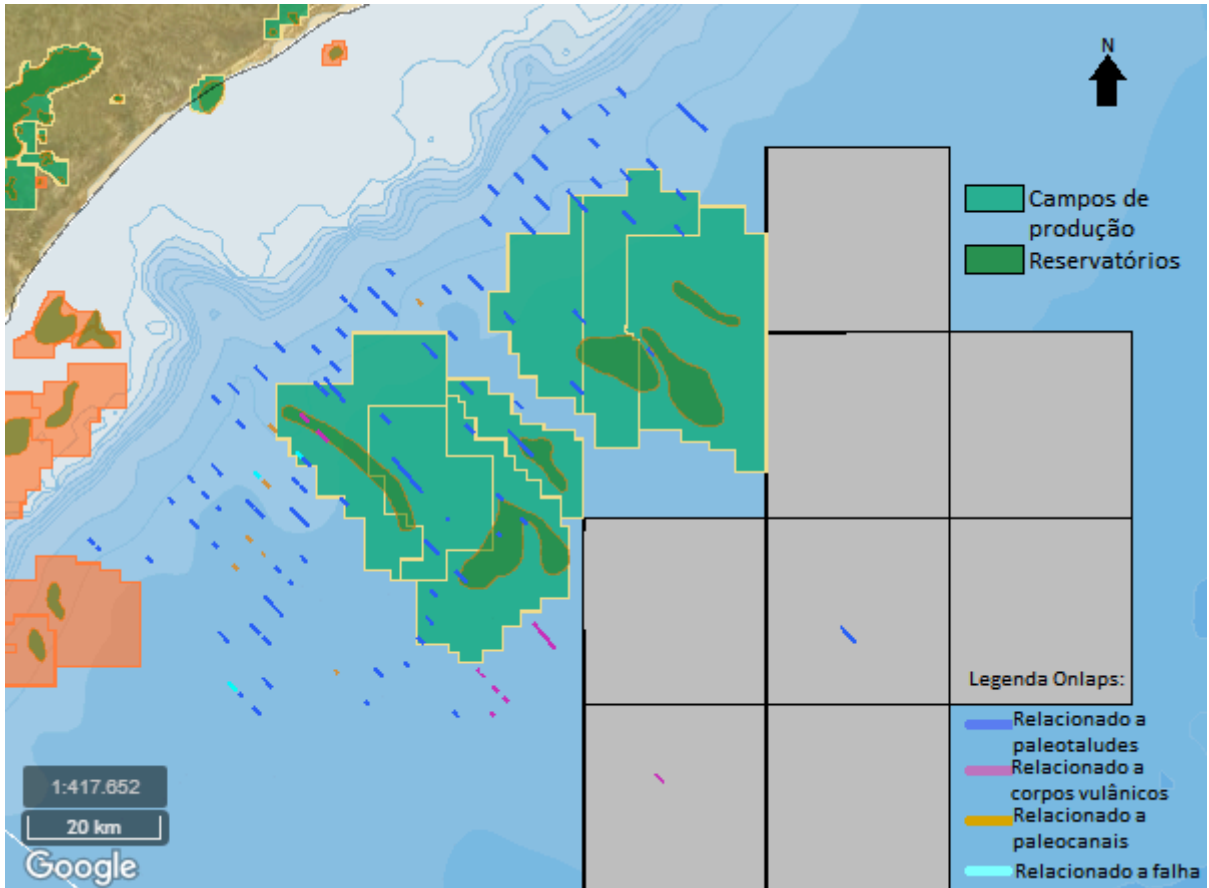
A partir dos mapas de contorno estrutural indicados na figura 16 A e B, é possível observar que as duas superfícies mapeadas seguem o mesmo padrão, quanto mais próximo ao talude submarino, menor é o tempo que a onda demora para chegar na superfície, comparado com as áreas mais distantes do talude submarino.

O mapa de isópacas, figura 16 C, mostra a espessura do intervalo entre a base da Formação Calumbi e o horizonte intra-Calumbi. O mapa de isópacas mostra uma espessura reduzida na porção sudoeste e um depocentro à nordeste. Observa-se também na Figura 16 C, duas porções mais espessas à nordeste, sendo caracterizadas por corpos vulcânicos.

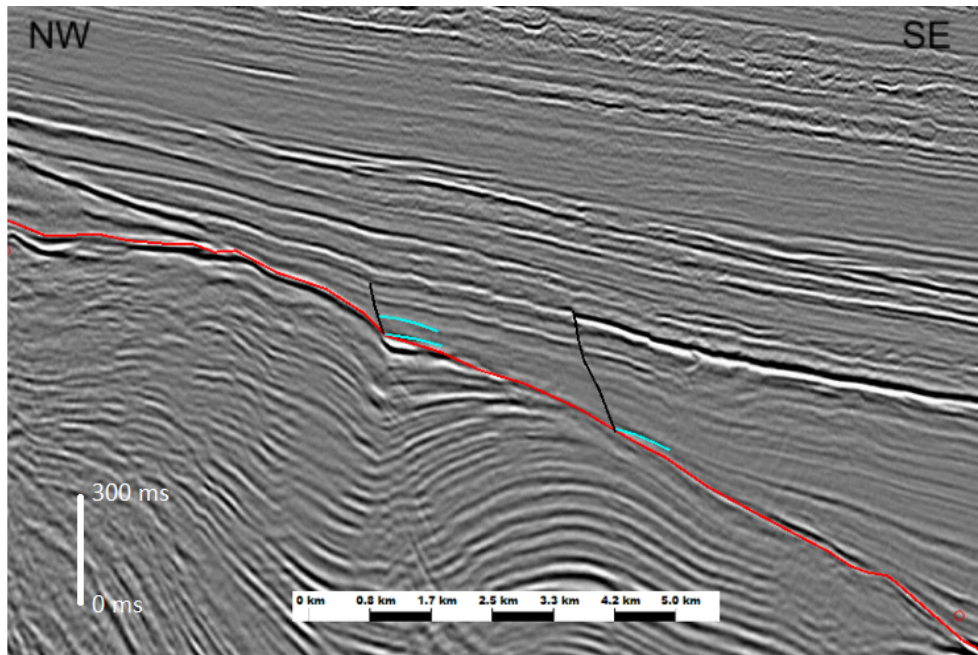


**Figura 16:** (A) Mapa de contorno estrutural, em tempo, da base da Formação Calumbi; (B) Mapa de contorno estrutural, em tempo, do horizonte intra-Calumbi; (C) Mapa de isópacas, em tempo.

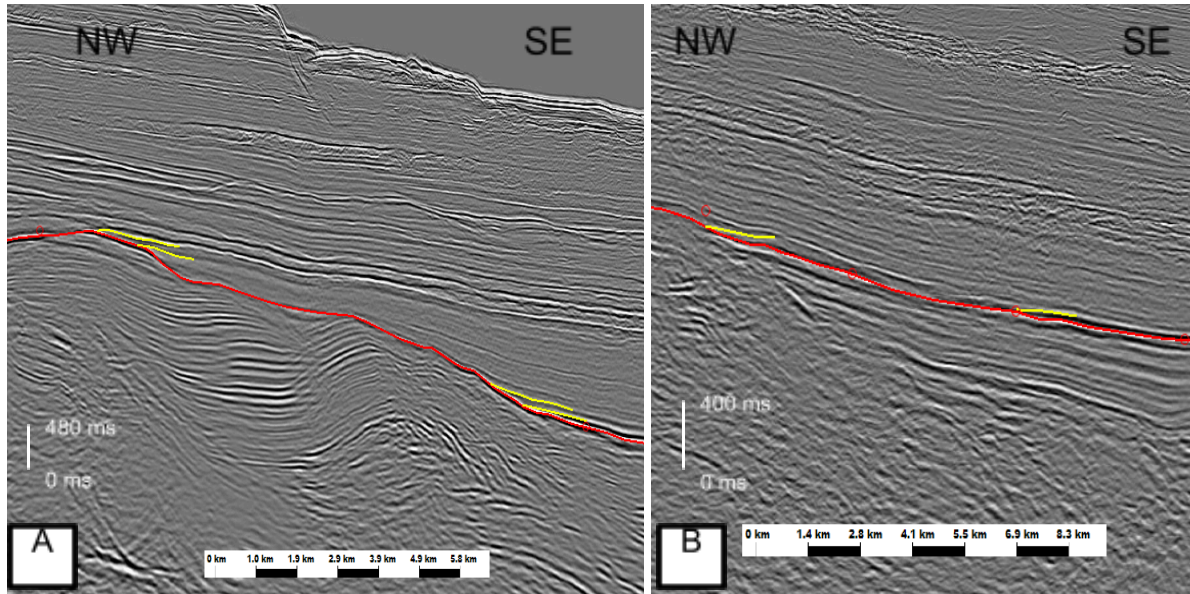
Foram mapeadas cerca de 100 terminações em *onlap*, como mostra a figura 17. Com relação as terminações *onlap* mapeadas (Figura 17), foi possível identificar quatro tipos de *onlap*, sendo, *onlap* associado ao paleotalude regional (Figura 18), associados a falhas (Figura 19), associados a paleocanais (Figura 20) e, a corpos vulcânicos (Figura 21).



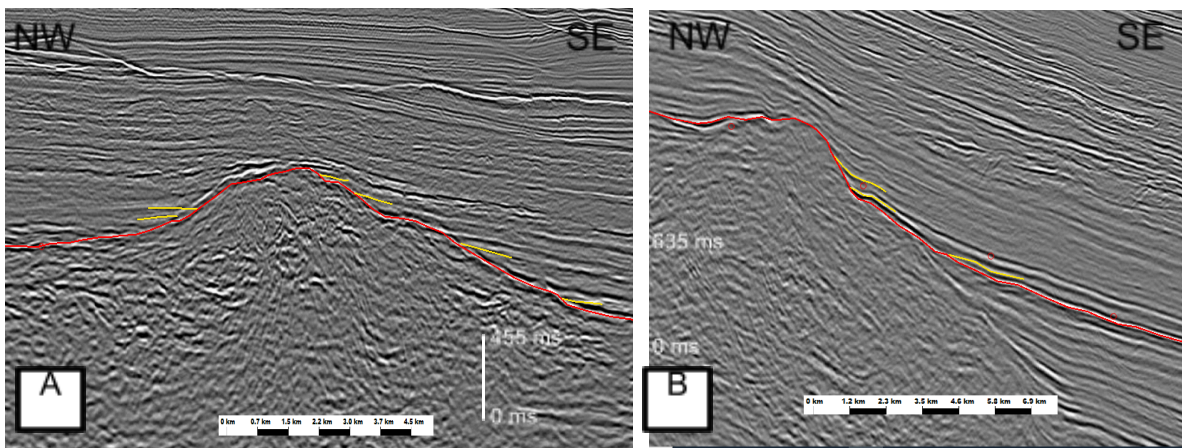
**Figura 17:** Terminações em *onlap* mapeadas, em planta.



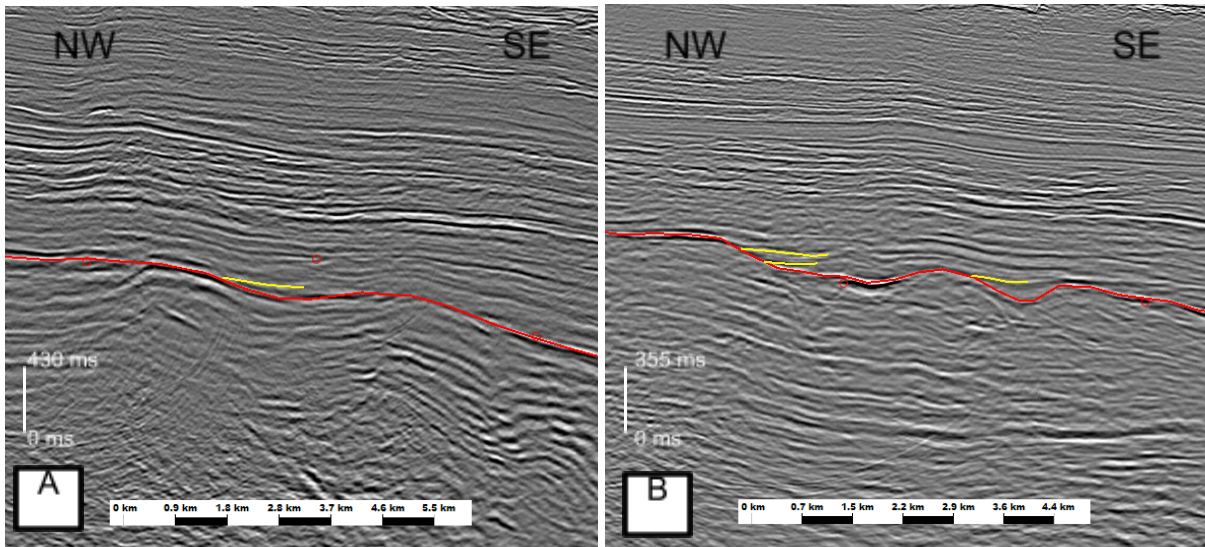
**Figura 18:** Terminações em *onlap* associadas a falhas. Em vermelho a base da Formação Calumbi, em azul as terminações *onlap* e em preto as falhas.



**Figura 19 A e B:** Terminações em *onlap* associadas aos paleotaludes regionais. Em vermelho a base da Formação Calumbi, em amarelo as terminações *onlap*. Exagero vertical da figura 1,3x.

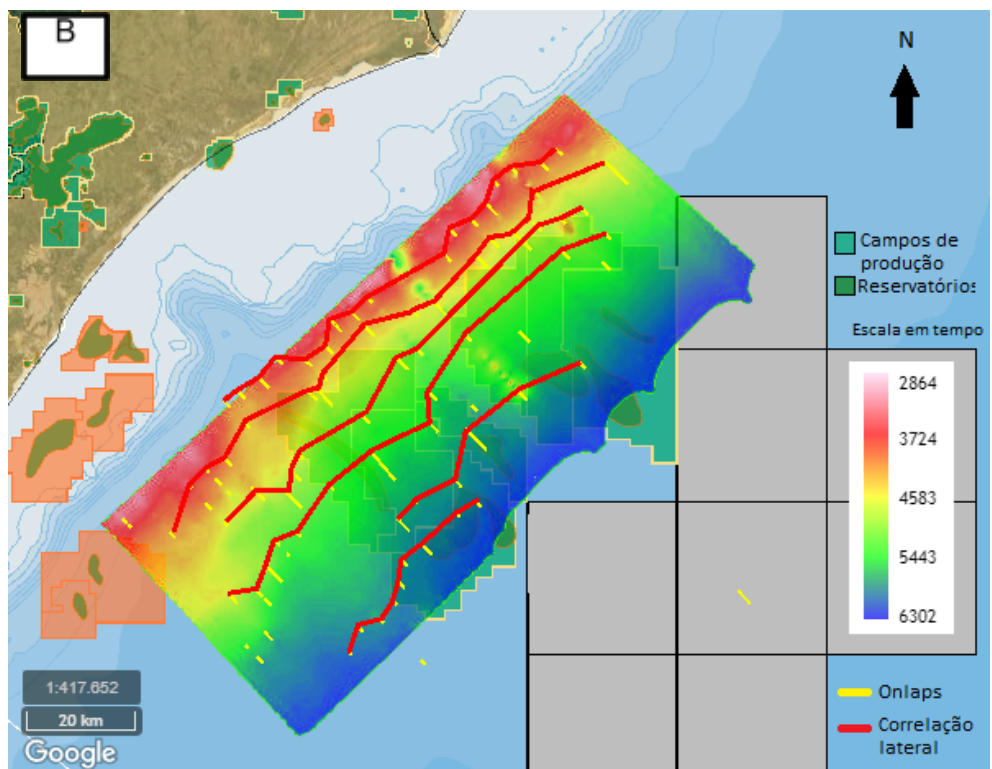
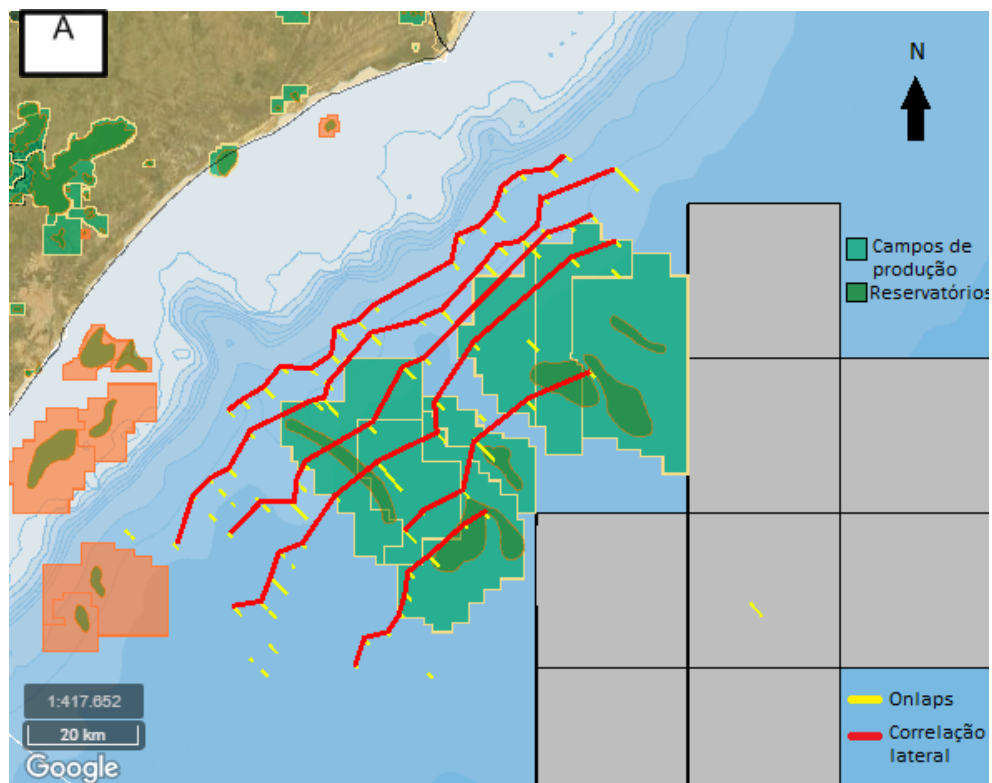


**Figura 20 A e B:** Terminações em *onlap* associadas a corpos vulcânicos. Em vermelho a base da Formação Calumbi e em amarelo as terminações *onlap*. Exagero vertical da figura 1,3x.



**Figura 21 A e B:** Terminações em *onlap* associadas a paleocanais. Em vermelho a base da Formação Calumbi e em amarelo as terminações *onlap*. Exagero vertical da figura 1,3x.

A partir da relação das terminações em *onlap* com o mapa de contorno estrutural, foi possível relacionar em planta a continuidade das terminações em *onlap* relacionadas ao paleotalude regional, uma vez que elas predominam na área (Figura 22 A). E observou-se que essa continuidade lateral, assim como as próprias terminações *onlap* contra os paleotaludes, seguem os limites estruturais mostrados no mapa de contorno estrutural (Figura 22 B).



**Figura 22:** (A) Correlação lateral em planta das terminações em onlap associadas ao paleotopografia regional e (B) sua relação com o mapa de contorno estrutural.

## 6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados discutidos acima conclui-se:

- Durante o mapeamento sísmico foram identificados 4 tipos de terminações em *onlap*, sendo associados ao paleotalude regional, associados a falhas, associados a paleocanais e, a corpos vulcânicos;
- Ocorre o predomínio de terminações em *onlap* associadas ao paleotalude regional, que reflete uma paleofisiografia muito similar à fisiografia atual da margem continental;
- A partir do mapa de isópacas é possível observar que ocorre um depocentro à nordeste e à sudoeste a espessura de sedimentos é reduzida;
- Constata-se que os reservatórios de petróleo seguem o padrão de orientação das terminações em *onlap*, tendo eixo de alongamento paralelo à essas terminações;
- As terminações em *onlap* funcionam como controle regional nas acumulações de petróleo.

## REFERÊNCIAS

- Antonietto L. S. 2015. *Taxonomia, paleoecologia e bioestratigrafia de ostracodes da Formação Riachuelo, Bacia de Sergipe-Alagoas, nordeste do Brasil*. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade de Brasília, 210 pp. [dx.doi.org/10.26512/2015.04.T.18652](https://doi.org/10.26512/2015.04.T.18652)
- Balanço energético Nacional 2023. Empresa de pesquisa Energética (EPE). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>> Acesso em: 05 de maio 2023.
- Brown, L. F., Jr & Fischer, W. L. Seismic Interpretation of Depositional Systems: Examples from Brazilian Rift and Pull-Apart Basins. 1977. *Seismic Stratigraphy – applications to hydrocarbon exploration*. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists. 1977. AAPG Memoir 26. P. 213-248.
- Cainelli, C. 1992. *Sequence Stratigraphy, Canyons, and Gravity Mass-Flow Deposits in the Piaçabuçu Formation, Sergipe-Alagoas Basin, Brazil*. Dissertation of Doctor of Philosophy, The University of Texas at Austin.
- Cainelli, C., 1994. Shelf processes and canyon/channel evolution controlling turbidite systems: examples from the Sergipe-Alagoas Basin, Brazil. GCSSEPM Foundation 15th Annual Research Conference. 39–50.
- Campos Neto O. P. A. C., Lima W. S., Cruz F. G. 2007. Bacia de Sergipe-Alagoas. *Boletim de Geociências da PETROBRAS*, Petrobras, Rio de Janeiro, **15**: 405-415.
- Catuneanu O. 2006. *Principles of Sequence Stratigraphy*. 2ed. Elsevier, Amsterdam, 375 pp. ISBN 9780080885131
- Chopra S., Marfurt K.J. 2012. Evolution of seismic interpretation during the last three decades. *The Lead Edge*, Houston, **31**: 654–676. [doi.org/10.1190/tle31060654.1](https://doi.org/10.1190/tle31060654.1)
- D'Ávila R.S.F., Arientini L.M., Aragão M.A.N.F., Vesely F.F., Santos S.F., Voelcker H.E., Viana A.R., Kowmann R.O., Moreira J.L.P., Coura A.P.P., Paim P.S.G., Matos R.S., Machado L.C.R. 2008. Ambientes de águas profundas. In: Silva A.J.C.L.P., Aragão M.A.N.F., Magalhães., *Ambientes de sedimentação siliciclástica do Brasil*. São Paulo. Editora Beca, p. 244-301.
- Especial ANP 20 anos. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Disponível em:

<https://www.gov.br/anp/pt-br/aceso-a-informacao/institucional/especial-anp-20-anos#:~:text=Hoje%2C%20a%20ind%C3%BAstria%20do%20petr%C3%B3leo>  
Acesso em: 05 de maio de 2023.

Garcia M., Ercilla G., Alonso B., Estrada F., Jane G., Mena A., Alves T., Juan C. 2015. Deep-water turbidite systems: a review of their elements, sedimentary processes and depositional models. Their characteristics on the Iberian margins. *Boletín Geológico y Minero*, **126**: 189-218.

Guimarães M. A. G., Freitas S. Evolução tecnológica na aquisição sísmica marítima. In *International Congress of the Brazilian Geophysical Society*. 8th. 2003. Rio de Janeiro. European Association of Geoscientists & Engineers. 2003.

Haeser B. 2017. Bacia de Sergipe-Alagoas: Sumário Geológico e Setores em Oferta. 14° Rodada de Licitações, ANP. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/rodadas-anp/rodadas-concluidas/concessao-de-blocos-exploratorios/14a-rodada-licitacoes-blocos/arquivos/areas-oferta/sumario-sergipe-alagoas-mar.pdf> Acesso em: 05 de maio de 2023.

Herron D.A. 2011. *First Steps in Seismic Interpretation*. Geophysical Monograph Series, Society of Exploration Geophysicists, Texas, 217 pp. doi.org/10.1190/1.9781560802938

Mohriak W. U. 2003. Bacias sedimentares da margem continental Brasileira. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*, CPRM, Brasília, **3**: 87-165.

Mutti E., Normark W. R. 1987. Comparing examples of modern and ancient turbidite systems: problems and concepts. In: Leggett J. K., Zuffa G. G. *Marine clastic sedimentology: Concepts and case studies*. Springer Dordrecht, p. 1-38. doi.org/10.1007/978-94-009-3241-8

Os 15 maiores produtores de petróleo do mundo (Brasil está na 9ª posição). Exame. Disponível em: <https://exame.com/mundo/os-15-maiores-produtores-de-petroleo-do-mundo-brasil-esta-na-9a-posicao/> Acesso em: 05 de maio de 2023.

Ponte F.C., Dauzacher M.V., Porto R. Origem e acumulação de petróleo nas bacias sedimentares do Brasil. In: *Congresso Brasileiro de Petróleo*. 1th. 1978. Rio de Janeiro. 121-146.

Portugal B.S. 2005. *Fácies Sedimentares de um Leque de Água Profunda de Margem Ativa, em Afloramento da Bacia de Itajaí, Sul do Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 100 pp.

Veeken P. C. H., Moerkerken B. 2013. *Seismic Stratigraphy and Depositional Facies Models*. 1ed. EAGE Publications, 496 pp. ISBN 978-90-73834-43-9