

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

**JEFERSON DIAS MARTINS**

**GEOMORFOLOGIA SÍSMICA DE UM DEPÓSITO DE TRANSPORTE EM MASSA  
NO CRETÁCEO SUPERIOR DA BACIA DE SANTOS**

**CURITIBA**

**2017**

**JEFERSON DIAS MARTINS**

**GEOMORFOLOGIA SÍSMICA DE UM DEPÓSITO DE TRANSPORTE EM MASSA NO  
CRETÁCEO SUPERIOR DA BACIA DE SANTOS**

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: Prof. Dr. Fernando Farias Vesely

Co-orientador: MSc. Fábio Berton

**CURITIBA**

**2017**

A meus pais, irmãos e namorada pelo amor e confiança.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu orientador Prof. Dr. Fernando Farias Vesely, não somente pela orientação, apoio, dedicação e paciência durante o desenvolvimento deste trabalho, mas pela contribuição intelectual como professor de geologia.

Ao meu coorientador, MSc Fábio Berton, por todo auxílio, orientação, apoio e dedicação durante o desenvolvimento desta monografia.

Ao LABAP, pela estrutura à disposição, pelos dados fornecidos e pela oportunidade de trabalhar com este tema.

A todos os professores do Departamento de Geologia, por terem contribuído com minha formação, em especial ao Prof. MSc. Fernando Mancini, pela inspiração como profissional e pela contribuição direta em meu desenvolvimento profissional.

A meus pais, Maria de Fátima e José Custódio, por todo amor, apoio e dedicação incondicionais ao longo dos anos.

A meu irmão Luiz Fernando, pelas conversas, apoio e incentivo e por ter sido decisivo na minha decisão pela geologia.

À minha irmã Eveline, por todo carinho e ajuda que me prestou nos últimos anos e que foram essenciais para eu estar concluindo esta graduação.

À minha namorada, amiga e companheira, Saradjane, pelo apoio, carinho, amor e paciência nos últimos anos, que me fizeram amadurecer e desenvolver.

A todos os familiares e amigos que contribuíram de alguma forma para que eu alcançasse o êxito em minha formação profissional.

Por fim, à Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de um ensino de qualidade, pela estrutura e recursos que permitiram meu desenvolvimento profissional e pessoal ao longo dos anos de graduação.

## RESUMO

Técnicas de análise de subsuperfície, como geomorfologia sísmica e análise de sismofácies, foram utilizadas sobre dados sísmicos 3D da porção norte da Bacia de Santos para caracterizar aspectos morfológicos e arquitetônicos de depósitos de transporte em massa (DTMs) do Cretáceo Superior. Esses depósitos são provenientes de escorregamentos de massa submarinos e ocorrem comumente na porção de sopé de taludes. A expressão sísmica desses DTMs é marcada por uma sismofácies caótica de baixa a moderada amplitude. São depósitos predominantemente lamosos que apresentam estruturas deformacionais internas associadas a esforços distensionais e compressionais que atuaram sobre a massa em movimento. Internamente, apresentam blocos alóctones deformados (“em jangada”) que foram transportados pelo fluxo gravitacional e blocos não-deformados (remanescentes) que atuam como anteparos ao fluxo e influenciam no arranjo interno do depósito. A superfície de topo reflete a heterogeneidade do depósito, tendo sua morfologia marcada pelas estruturas deformacionais, presença de blocos remanescentes e variação reológica da matriz com os blocos transportados. A superfície de base apresenta um aspecto erosivo que se assemelha a um escavamento em forma de canal. Com isso, a topografia do fundo marinho acima do DTM se mostra irregular, condicionando, por vezes, corpos turbidíticos arenosos subjacentes. O depósito mostra características importantes para sistemas petrolíferos por ter grandes dimensões e espessura e composição essencialmente lamosa, podendo atuar como selo para turbiditos sotopostos, ou ainda como reservatórios, devido aos blocos de grandes dimensões e possivelmente arenosos que ocorrem em seu interior.

**Palavras chave:** geomorfologia sísmica; depósito de transporte em massa; sistemas marinhos profundos; fácies sísmicas.

## ABSTRACT

Techniques of subsurface analysis, such as seismic geomorphology and seismic facies analysis, were applied on a 3D seismic survey from northern Santos Basin to characterize the morphological and internal architecture of Late Cretaceous mass-transport deposits (MTDs). These deposits are the result of submarine landslides and occur commonly at the slope toe. The seismic expression of MTDs is of a chaotic seismic facies with low to moderate amplitude. They are predominantly mud-rich and present internal deformational structures associated with extensional and compressional regimes operating within the mass flow. Internally, they have allochthonous deformed blocks (rafted blocks) that were transported by the gravitational flow and non-deformed blocks (remnant blocks) that act as obstacles for the flow and influence the internal architecture of the deposit. The top surface reflects the heterogeneity of the deposit, and its morphology is a result of deformational structures, remnant blocks and rheological variation of the matrix with rafted blocks. The base surface has an erosive aspect that resembles a channel-shaped excavation. Thereby, the topography of the seafloor above the MTD is irregular, sometimes conditioning underlying sandy turbidites. The deposit shows important characteristics for petroleum systems because it has large dimensions and thickness and is essentially muddy, is able to act as a seal for underneath turbidites, or as reservoir, due to possible large sandy blocks that take place in their interior.

**Keywords:** seismic geomorphology; mass-transport deposit; deep-marine systems; seismic facies.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b> Bloco-esquemático mostrando os principais domínios de um escorregamento submarino. ....	2
<b>Figura 02:</b> Classificação e terminologia de processos deposicionais gravitacionais. ....	3
<b>Figura 03:</b> Seção sísmica ilustrando depósitos de transporte em massa (MTD 2 e MTD3), mostrando o padrão caótico dos refletores destacando-se em meio a conjuntos paralelos a subparalelos. ....	5
<b>Figura 04:</b> Carta estratigráfica da Bacia de Santos. ....	8
<b>Figura 05:</b> Mapa de parte do litoral sul-sudeste do Brasil, mostrando a Bacia de Santos limitada pelos Altos de Cabo Frio e Florianópolis. Em destaque a localização do levantamento 3D BS500 proximal, em cujo cubo sísmico de estudo está inserido. ....	10
<b>Figura 06:</b> Seções que compõe o volume 3D. <b>A:</b> <i>In-line</i> , em corte longitudinal ao mergulho da bacia. <b>B:</b> <i>Cross-line</i> , em corte transversal ao mergulho da bacia. <b>C:</b> <i>Z-Slice</i> , em corte horizontal do volume sísmico, cortando várias linhas de tempo. ....	11
<b>Figura 07:</b> Interface do programa OpendTect 6.0.0 para traçado de horizontes 3D. <b>A:</b> Aba para seleção do modo de traçado, com a seleção da opção de tracking automático assinalada. <b>B:</b> Aba para seleção do evento a ser seguido no traçado, com um evento positivo (min) marcado. ....	11
<b>Figura 08:</b> Imagem de <i>in-lines</i> em escala de cinza da superfície basal gerada pelos horizontes traçados segundo um pico negativo. Superfície basal gerada em contraste com o padrão caótico dos refletores ao longo de todo o volume sísmico. ....	12
<b>Figura 09:</b> Interface do programa OpendTect 6.0.0. Janela da ferramenta <i>gridding</i> de um horizonte 3D usada para preenchimento “somente de buracos” usando o algoritmo triangulação. ....	13
<b>Figura 10:</b> Imagem das superfícies de topo, pico máximo, e base, pico mínimo traçadas. <b>A:</b> Imagem de <i>in-line</i> da porção sudoeste do depósito. <b>B:</b> Imagem da porção central da <i>cross-line</i> , numa porção central do depósito. ....	13
<b>Figura 11:</b> Interface do programa OpendTect 6.0.0. Seleção do atributo “instantaneous” para interpretação de variações instantâneas de parâmetros. ....	15

<b>Figura 12:</b> Interface do programa OpendTect 6.0.0. Seleção do atributo “Similarity” para interpretação de semelhanças entre segmentos em relação a amplitude e forma de onda. A imagem mostra a configuração mais completa, que leva em consideração os mergulhos dos refletores. ....	16
<b>Figura 13:</b> Imagem de seção sísmica <i>in-line</i> mostrando sismofácies regionais da área de estudo. Esquema das principais feições que abrangem este trabalho. ....	17
<b>Figura 14:</b> Seção <i>in-line</i> da porção oeste do depósito mostrando o padrão caótico caracterizado por refletores contorcidos, em destaque um bloco definido por refletores contínuos dobrados. ....	18
<b>Figura 15:</b> Seções sísmicas <i>cross-lines</i> . <b>A:</b> porção NE onde o depósito apresenta espessuras em torno de 40 metros. <b>B:</b> região central do depósito onde se percebe sua maior espessura e seu adelgaçamento em direção às laterais, com a base em geral plana e o topo mostrando uma leve convexidade na porção central e o arqueamento pós-deposicional da parte NE. ....	19
<b>Figura 16:</b> Mapa de contorno estrutural da superfície basal do DTM, mostrando os principais eixos do depósito. As linhas de contorno estrutural mostram valores mínimos e máximos de Z em milissegundos. ....	20
<b>Figura 17:</b> Bloco-diagrama esquemático mostrando a topografia da superfície do DTM e seu contorno estrutural. Valores de Z dão noção do relevo sobrejacente ao depósito. Estão indicados no bloco porções do depósito mencionadas durante do texto, para auxiliar na localização das caracterizações. ....	20
<b>Figura 18:</b> Expressão sísmica de um bloco transportado, com altura de aproximada de 130 metros e cerca de 720 metros de comprimento. Os refletores de pico branco contínuos caracterizam o bloco deformado. <b>A:</b> visão em <i>in-line</i> . <b>B:</b> visão em <i>cross-line</i> . <b>C:</b> Visão em <i>random line</i> . <b>D:</b> visão do bloco em <i>z-slice</i> . ....	22
<b>Figura 19:</b> Imagem de feições deformacionais em meio a matriz do depósito, destacando espessamento local dos estratos, indicativo de deformação sin-deposicional. ....	22
<b>Figura 20:</b> Imagem de seção <i>z-slice</i> da porção basal do DTM, tendo sido utilizado o atributo Similarity (configuração simples) para atenuar contrastes de amplitude. Alguns blocos são apontados e suas dimensões dão ideia da progressiva diminuição de suas medidas sentido sul. Na porção W-SW é apontado um bloco movimentado que atua como limite para o DTM. ....	23

- Figura 21:** Imagem de *in-line* da porção leste, mostrando um grande bloco em processo de dobramento, com falhas associadas. Topografia superior é alterada pelo rearranjo dos blocos falhados. Atentar para o fato da superfície basal do bloco em deformação ser irregular, característica importante para dizer que tal bloco não é remanescente. ....23
- Figura 22:** Imagem de *cross-line* na porção central, domínio E-SE. O bloco remanescente serve como barreira para o movimento do fluxo gerando dobramentos do material transportado. Algumas falhas podem estar associadas ao contato entre os dobramentos e os limites dos blocos remanescentes.....24
- Figura 23:** Imagem de *in-line* mostrando bloco remanescente, cujos estratos sub-horizontais acompanham os inferiores, sobressaindo-se à superfície de topo, caracterizando-o como um morro testemunho. O bloco possui cerca de 270 metros de altura e 2 km de comprimento. ....25
- Figura 24:** Imagem em perspectiva do bloco apontado na figura anterior, gerada pelo cruzamento da *in-line* e *cross-line* dá ideia da forma e das feições deformacionais adjacentes que ocorrem associadas. Destaque para os refletores marcados por picos vermelhos de alta amplitude, possíveis corpos arenosos, terminando em *onlap* sobre a protuberância gerada pelo bloco. ....25
- Figura 25:** Imagem de *in-line* da porção W-SW do DTM. Em vermelho, destaca-se o bloco alóctone que atua como limite lateral para o depósito nesta porção, verificado pelo contraste dos refletores que o compõe e o padrão contorcido dos refletores do DTM, truncando a superfície de base. Além disso, o contraste ocorre também com os refletores do talude, o que aponta ser um bloco alóctone pela não correlação. É possível ainda verificar que a superfície de topo recobre o bloco. ....26
- Figura 26:** Superfície de topo do DTM marcada por um pico preto de baixa amplitude sísmica. **A:** visão de seção *in-line* numa porção W-SW do depósito. **B:** visão de seção *cross-line* numa porção central. ....26
- Figura 27:** Imagem interpretativa dos refletores em terminação *downlap* constituintes do talude e da superfície de escorregamento atuante como uma superfície de truncamento para o refletor em terminação *onlap* que define a superfície de topo do DTM. ....27
- Figura 28:** Superfície de topo em perspectiva de seção *in-line* da porção central e *cross-line* da porção oeste do DTM. A superfície é mais regular e contínua nesta porção.....28

**Figura 29:** Imagem de *in-line* da região central do depósito, no domínio E-SE. Blocos “em jangada” apresentam falhas, vistas na porção central da imagem. Em destaque, um bloco em processo de deformação, visto pela sinuosidade dos refletores internos. ....28

**Figura 30:** Mapa da superfície de topo com o atributo Similarity “*all directions*”. O atributo representa porções onde os refletores possuem semelhanças de amplitude, principalmente, considerando também o mergulho dos refletores. Na região leste são onde ocorrem morros testemunhos e blocos maiores deformados. As duas porções onde apresentam essas feições de amplitudes semelhantes coincidem também com o arqueamento do depósito, o que poderia elevar os blocos coerentes fazendo com que se destaquem na superfície. ....29

**Figura 31:** Superfície de base do DTM, marcada por um pico amarelo/vermelho de alta amplitude sísmica. **A:** seção *in-line* da superfície de base do depósito numa porção W-SW. A linha branca tracejada na parte NW mostra que a superfície de base tem continuidade lateral com as clinofórmulas do talude. **B:** seção *cross-line* da superfície de topo do depósito, numa porção proximal central. ....30

**Figura 32:** Imagem de uma linha sísmica arbitrária mostrando o depósito sendo arqueado na porção SE, adquirindo, assim, uma feição côncava para cima. ....30

**Figura 33:** Imagem de seção *in-line* destacando uma feição erosiva na porção do sopé do talude, onde ocorre uma depressão do terreno, sendo chamada de “rampa” pelo formato que adquire. ....31

**Figura 34:** Imagem de seção arbitrária perpendicular à direção de fluxo. A superfície de base mostra na porção leste um aspecto erosivo, cortando outros refletores. Atentar também para a deformação que se vê nos blocos em contato com a superfície basal na mesma parte. ....31

**Figura 35:** Mapa de amplitude instantânea da superfície de base do depósito. Em vermelho percebe-se os maiores valores de amplitude, relacionados a corpos de menor densidade, possivelmente arenosos. A região central, mais profunda do depósito, tem esses valores possivelmente devido a corpos turbidíticos arenosos que foram sobrepostos pelo depósito.....32

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
2.1. Conceituação sobre depósitos de transporte em massa (DTMs) .....	2
2.2. Sísmica de Reflexão .....	5
2.3. Geomorfologia Sísmica.....	6
2.4. Contexto geológico da área de estudo.....	6
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	9
3.1. Revisão Bibliográfica .....	9
3.2. Aquisição dos dados .....	9
3.3. Mapeamento de horizontes sísmicos.....	10
3.4. Análise e Interpretação dos dados .....	14
4. RESULTADOS.....	16
4.1. Arcabouço Estratigráfico Regional .....	17
4.2. Características externas do DTM.....	18
4.3. Estrutura Interna .....	21
4.4. Superfície de Topo do DTM .....	26
4.5. Superfície de Base do DTM.....	29
5. DISCUSSÕES .....	32
6. CONCLUSÕES .....	35
REFERÊNCIAS .....	36

# 1. INTRODUÇÃO

O elevado suprimento sedimentar que alimentou a Bacia de Santos entre o Cretáceo Superior e o Paleógeno desenvolveu importantes eventos prográdantes e foi determinante para o disparo de movimentos de massa, devido à sobrecarga de sedimentos sobre o talude submarino (Macedo, 1989; Carlotto e Rodrigues, 2009). Esses movimentos gravitacionais submarinos constituem importantes mecanismos de transporte de sedimentos às porções profundas da margem continental, formando depósitos de transporte em massa (Shipp *et al.*, 2004; Berton e Vesely, 2016b).

Depósitos de transporte em massa (DTMs) são depósitos de composição predominantemente argilosa (Posamentier e Kolla, 2003; Martinez *et al.*, 2005; Alves, 2010; Berton, 2016) que abrangem grandes dimensões e, por isso, são associados a potenciais selantes de reservatórios de petróleo, principalmente por estarem relacionados a locais de sopé de talude, onde podem ocorrer turbiditos arenosos sotopostos. Entretanto, a estruturação deformacional interna desses depósitos pode prejudicar sua eficácia neste papel (Berton e Vesely, 2016a). O padrão interno caótico reflete-se na topografia do fundo marinho, gerando irregularidades que podem condicionar a deposição de reservatórios turbidíticos, tornando esses depósitos importantes modeladores do relevo submarino.

Este trabalho procurou descrever a expressão sísmica, aspectos morfológicos e características internas de depósitos de transporte em massa, a partir de ferramentas de análise de subsuperfície, a fim de contribuir para a compreensão desses DTMs e suas relações com outros sistemas de águas profundas.

## 1.1. OBJETIVOS

O principal objetivo deste trabalho é a caracterização de DTMs a partir da análise de dados sísmicos 3D, utilizando como estudo de caso depósitos da Bacia de Santos. Para esse objetivo, foram determinados objetivos específicos:

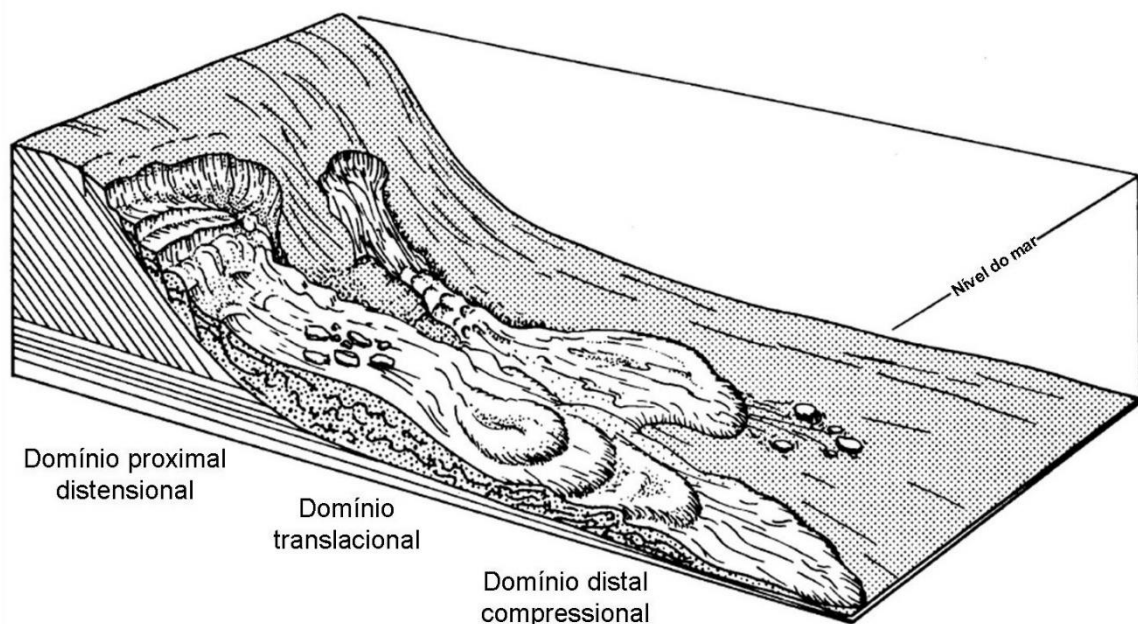
- Caracterização da expressão sísmica e composicional de DTMs;
- Caracterização da estrutura interna dos DTMs;
- Avaliação das relações espaciais entre DTMs e sistemas arenosos;
- Avaliação de possíveis controles geológicos associados a DTMs em acumulações de petróleo.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Conceituação sobre depósitos de transporte em massa (DTMs)

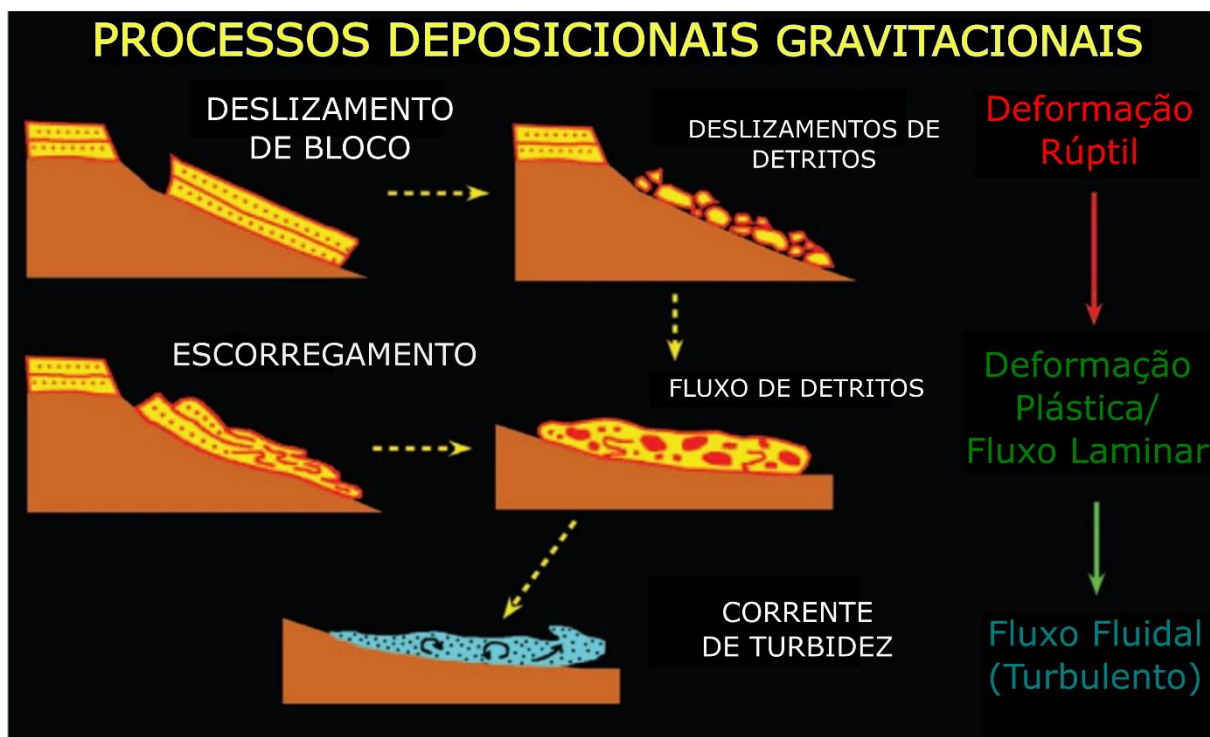
Os principais tipos de fluxos gravitacionais que ocorrem em ambientes marinhos profundos são fluxos de grãos, fluxos de detritos, correntes de turbidez e movimentos de massa, que são volumetricamente mais importantes durante rebaixamentos do nível de base, com maiores manifestações durante estágios finais de regressão forçada e menores em estágios máximos de regressão normal (Catuneanu, 2006). Fluxos gravitacionais são responsáveis pela mobilização de grandes volumes de sedimentos para porções profundas da margem continental (Shipp *et al.*, 2004; Bull *et al.* 2009), na forma de deslizamentos, escorregamentos e quedas de blocos, por exemplo.

Segundo Stow *et al.* (1996), deslizamentos e escorregamentos são movimentos de massa que englobam grandes blocos de sedimentos litificados ou semi-litificados mergulho abaixo. Apresentam estruturas deformacionais rígidas e plásticas internas, sendo possível reconhecer o acamadamento original. Porções proximais possuem estruturas distensionais enquanto as distais apresentam estruturas compressionais (Fig. 01).



**Figura 01:** Bloco-esquemático mostrando os principais domínios de um escorregamento submarino (Carlotto e Rodrigues, 2009; modificada de Galloway e Hobday, 1996).

Nelson *et al.* (2011) definem deslizamentos como uma forma de deformação rúptil, escorregamentos como deformação plástica e fluxos de detritos como fluxos laminares ou plásticos, todos sendo processos controlados por gravidade (Fig. 02). Entretanto, os mesmos autores não consideram sistemas turbidíticos como provenientes deste processo, uma vez que são originados por fluxos fluidos ou turbulentos. Masson *et al.* (2006) dividem esses deslizamentos em dois tipos: os relacionados às características geológicas do material movimentado e os causados por eventos transitórios, como terremotos.



**Figura 02:** Classificação e terminologia de processos deposicionais gravitacionais (modificada de Nelson *et al.* 2011).

A instabilidade dos taludes submarinos, na maior parte das vezes, parece ser proveniente de eventos transitórios externos. O deslizamento gerado por essa instabilidade nem sempre tem uma única causa, podendo estar associado a vários eventos. Os principais gatilhos para essa instabilidade parecem ser processos de alta taxa de sedimentação, liberações de gás livre, rebaixamento do nível relativo do mar, além de tremores sísmicos, estes geralmente relacionados a instabilidades de maiores escalas (Posamentier e Kolla, 2003; Gee *et al.* 2006; Masson *et al.* 2006; Moscardelli *et al.* 2006).

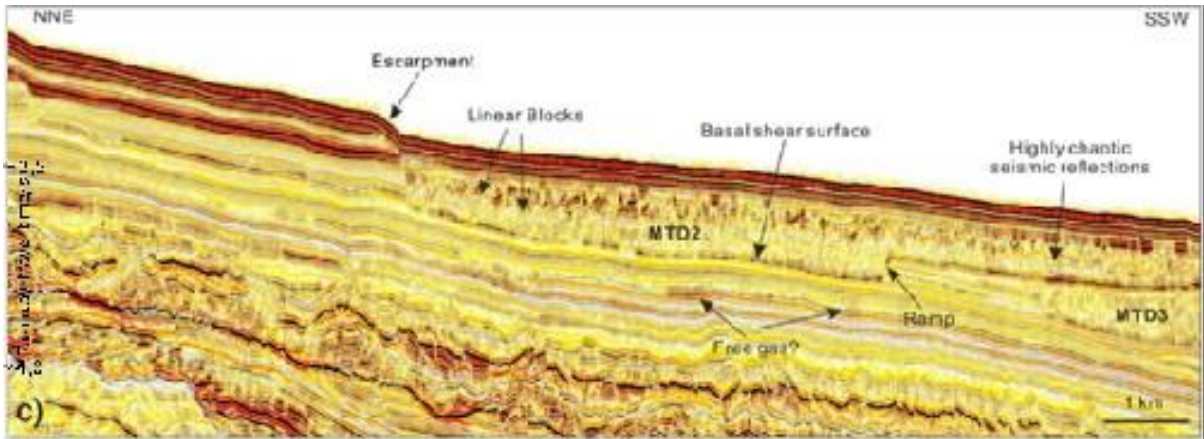
Na literatura, existem vários termos usados para descrever depósitos gerados pelo acúmulo de sedimentos provenientes de movimentos de massa, como, por exemplo, deslizamentos submarinos (Gee *et al.*, 2006), complexos de queda (Martinez *et al.*, 2005), complexos de transporte em massa (Bull *et al.*, 2009; Dalla Valle *et al.*, 2013; Gamberi *et al.*, 2011; Moscardelli *et al.*, 2006) e depósitos de transporte em massa (Posamentier e Kolla, 2003; Carlotto e Rodrigues, 2009; Alves, 2010; Alves e Cartwright, 2010; Nelson *et al.*, 2011; Gamboa e Alves, 2016; Bahk *et al.*, 2017). Neste trabalho, esses acúmulos serão tratados como depósitos de transporte em massa.

Para Nelson *et al.* (2011) depósito de transporte em massa é um termo geral para se referir a todos os depósitos gerados e controlados por processos gravitacionais, exceto por correntes de turbidez. Esses depósitos podem possuir milhares de km<sup>3</sup> e se estender por centenas de km, o que impacta na topografia do fundo marinho e influencia os processos seguintes controlando a distribuição de sedimentos nessas porções profundas do mar (Bahk *et al.*, 2017, Wang *et al.*, 2017).

Shipp *et al.* (2004) comparam complexos de transporte em massa, a partir de dados de poços e parâmetros geotécnicos, e concluem que algumas características são semelhantes entre depósitos. A litologia geralmente compreende sedimentos argilosos, podendo também haver areia, e os depósitos tendem a mostrar baixa porosidade e permeabilidade. São, em geral, provenientes da área da cicatriz do escorregamento, o que é importante para compreender a influência, ou não, de outros processos sedimentares na gênese dos depósitos.

A expressão sísmica desses DTMs mostra um padrão caótico dos refletores, geralmente dobrados ou encurvados (Fig. 03), apresentando amplitudes baixas, o que sugere uma composição rica em sedimentos argilosos e baixa estruturação interna (Posamentier e Kolla, 2003; Martinez *et al.*, 2005; Alves, 2010; Berton, 2016; Sun *et al.*, 2017b).

Depósitos de transporte em massa submarinos têm sido alvo de estudos por sua iminente importância no sistema petrolífero, como potenciais selos para reservatórios de petróleo em águas profundas ou, ainda, por possuírem grandes blocos em seu interior, podem servir para acumulação de hidrocarbonetos, constituindo potenciais armadilhas estratigráficas (Shipp *et al.*, 2004; Alves, 2015).



**Figura 03:** Seção sísmica ilustrando depósitos de transporte em massa (MTD 2 e MTD3), mostrando o padrão caótico dos refletores destacando-se em meio a conjuntos paralelos a subparalelos (modificada de Sun *et al.*, 2017b).

A boa qualidade dos dados sísmicos que têm sido obtidos nos últimos anos contribuiu para a intensificação dos estudos em subsuperfície, tendo sido descritos DTMs em diversas regiões tais como no Mar do Sul da China (Sun *et al.*, 2017a,b; Wang *et al.*, 2017), no leste da Coreia do Sul (Bahk *et al.*, 2017), na margem sudeste do Brasil (Carlotto e Rodrigues, 2009; Alves, 2010; Alves e Cartwright, 2010; Omosanya e Alves, 2013, 2014; Berton e Vesely, 2016a,b; Gamboa e Alves, 2016), no mar mediterrâneo (Dalla Valle *et al.*, 2013) e nas porções offshore de Trinidad e da Venezuela, por exemplo (Moscardelli *et al.*, 2006).

## 2.2. Sísmica de Reflexão

O método sísmico reflete a interação do substrato rochoso com as ondas sísmicas, a partir das propriedades físicas das rochas. As ondas são emitidas por uma fonte artificial na superfície, e possuem características específicas, como forma, amplitude, frequência e polaridade. À medida em que viajam pelo substrato rochoso, esses atributos físicos variam de acordo com as propriedades da rocha, com exceção da frequência. As principais propriedades são a velocidade de propagação das ondas sísmicas e a impedância acústica, que denotam diferenças de densidade das rochas de acordo com a velocidade. As mudanças de impedância acústica com a diferença de profundidade e contrastes das propriedades do substrato rochoso são marcadas em linhas sísmicas por refletores. Esses refletores podem significar mudanças litológicas, diferentes graus de compactação ou alterações no conteúdo de fluidos dentro do mesmo litotipo (Mitchum *et al.*, 1977; Catuneanu, 2006).

Uma reflexão sísmica que preserva a polaridade original do sinal (positiva), indica um aumento da impedância acústica com a profundidade, em geral de um meio mais denso para outro de menor densidade. Já uma mudança de polaridade indica uma diminuição da impedância, determinando um sinal sísmico negativo (Mitchum *et al.*, 1977; Catuneanu, 2006).

### **2.3. Geomorfologia Sísmica**

Consiste na análise geomórfica em subsuperfície a partir do uso de dados sísmicos 3D (Posamentier *et al.*, 2007). Esta análise permite a interpretação, ao longo do volume sísmico, de refletores que representem superfícies deposicionais ou erosivas de interesse para o estudo, como superfície de topo e base de depósitos de transporte em massa ou cicatrizes de escorregamentos.

Após a interpretação de superfícies podem ser aplicados atributos sísmicos nos horizontes resultantes com a finalidade de ressaltar variações de amplitude e frequência, estruturas sin e/ou pós-deposicionais, heterogeneidades do depósito, etc. Além disso, pode ser aplicada para avaliação de possíveis armadilhas de petróleo, uma vez que permitem a visualização de locais em que há o arqueamento dos depósitos. É uma ferramenta que permite a observação direta e a interpretação de feições tridimensionais em subsuperfície.

### **2.4. Contexto geológico da área de estudo**

A Bacia de Santos localiza-se na margem continental brasileira entre os estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e Santa Catarina. Limita-se com a Bacia de Campos a norte, através do Alto de Cabo Frio, e a sul com a Bacia de Pelotas, pelo Alto de Florianópolis, tendo área em torno de 350.000 km<sup>2</sup> e espessura sedimentar de mais de 10 km nos principais depocentros (Moreira *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2008).

A Bacia tem seu embasamento formado por granitos e gnaisses pré-cambrianos do Complexo Costeiro e por metassedimentos da Faixa Apiaí (Moreira *et al.*, 2007). O registro sedimentar da bacia tem sua evolução relacionada à ruptura entre os continentes sul-americano e africano, no Neocomiano, e passa pelo desenvolvimento de fases rifte, transicional e pós-rifte (Fig. 04).

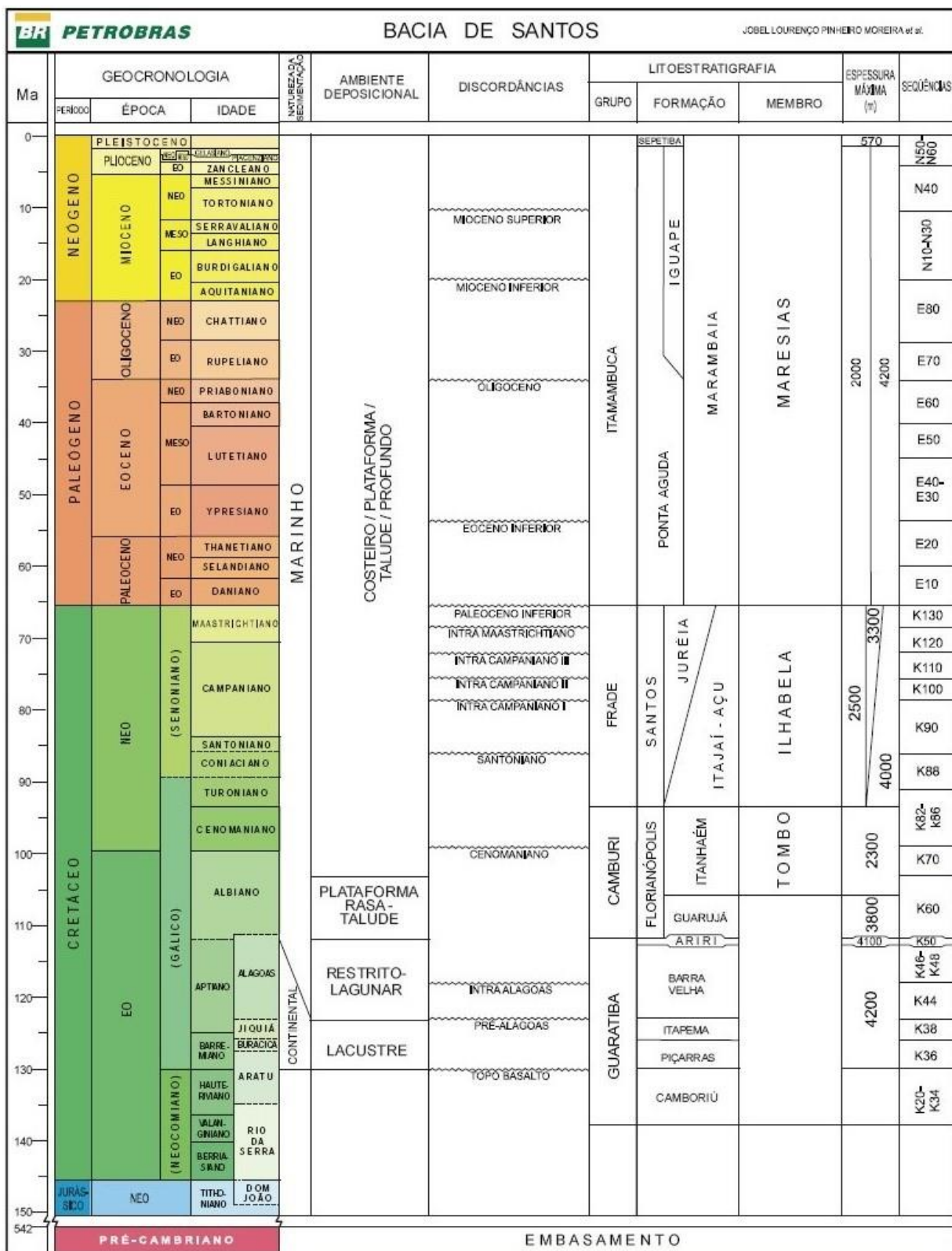
A fase rifte (Hauteriviano ao Eoaptiano) é caracterizada inicialmente por derrames basálticos eocretáceos, associados à abertura do oceano Atlântico Sul. O

movimento distensivo gerou falhas normais, configurando depressões que canalizavam os sedimentos continentais imaturos, provenientes de leques aluviais, para as porções proximais da bacia. Na parte distal, ocorria a deposição de calcirruditos, constituídos por restos de conchas, além de folhelhos escuros ricos em matéria orgânica, os quais constituem as principais rochas geradoras da bacia. O topo desta fase rifte é uma discordância regional do Aptiano (Moreira *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2008).

A fase transicional é marcada pela deposição de calcários microbiais, estromatólitos e laminitos, num ambiente entre continental e marinho raso. Essas rochas calcáreas são as principais rochas reservatório da bacia. A elevação da taxa de evaporação nesta fase culmina na transição da sedimentação carbonática para uma sedimentação evaporítica, compondo pacotes de sal de até 2500 metros formados, em geral, por halita e anidrita, havendo também silvinita, taquidrita e carnalita. (Moreira *et al.*, 2007; Chang *et al.*, 2008). O aporte sedimentar sobreposto ao espesso volume de sal (fase pós-rift) gerou a movimentação do substrato constituindo um sistema de falhas lítricas, inversas e domos de sal associadas a essa tectônica salina, propiciando trapas mistas para acumulações de petróleo, com o sal sendo tanto selo quanto agente gerador de estruturas selantes (Chang *et al.*, 2008; Contreras *et al.*, 2010).

A evolução culmina na fase drifte, onde o ambiente marinho marca o início da deposição em margem passiva, no Albiano Inferior. No final do Turoniano, a bacia passa a registrar um padrão regressivo devido ao soerguimento da Serra do Mar por reativações tectônicas. A erosão da cadeia montanhosa gerou o aumento do suprimento sedimentar o que implicou em importantes incrementos de sedimentos na forma de cunhas clásticas progradacionais, numa fase regressiva denominada Progradação Juréia (Macedo, 1989; Moreira *et al.*, 2007; Assine *et al.*, 2008).

A compensação isostática devido ao soerguimento da área-fonte propiciou a subsidência de parte da bacia, que tem esse processo facilitado pelo embasamento falhado da fase rifte. Esse aumento do espaço de acomodação é intensificado ainda pela tectônica do sal atuante talude abaixo. Esses fatores promoveram a migração dos depocentros para nordeste da bacia (Macedo, 1989; Assine *et al.*, 2008), acumulando grandes volumes de sedimentos nessas porções.



### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Revisão Bibliográfica

Para o desenvolvimento desta pesquisa, a fundamentação teórica teve como base bibliográfica trabalhos relacionados a análise de dados sísmicos, sismoestratigrafia e geomorfologia sísmica (p.ex. Mitchum *et al.*, 1977; Posamentier e Kolla, 2003; Catuneanu, 2006; Back *et al.*, 2011; Berton, 2016; Berton e Vesely, 2016a,b) e trabalhos sobre movimentos de massa submarinos, depósitos de transporte em massa e complexos de transporte em massa (Posamentier e Kolla, 2003; Martinez *et al.*, 2005; Gee *et al.*, 2006; Masson *et al.*, 2006; Moscardelli *et al.*, 2006; Bull *et al.*, 2009; Carlotto e Rodrigues, 2009; Alves, 2010; Alves e Cartwright, 2010; Alves e Lourenço, 2010; Gamberi *et al.*, 2011; Nelson *et al.*, 2011; Dalla Valle *et al.*, 2013; Dixon *et al.*, 2013; Omosanya e Alves, 2013, 2014; Alves, 2015; Berton, 2016; Berton e Vesely, 2016a,b; Guan *et al.*, 2016; Gamboa e Alves, 2016; Bahk *et al.*, 2017; Sun *et al.*, 2017a,b; Wang *et al.*, 2017).

Estes trabalhos foram adquiridos através de sites como *ScienceDirect*, *Researchgate*, portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de pessoal de Nível Superior), Boletim de Geociências da Petrobras, além de consultas à livros disponíveis no acervo da Biblioteca de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

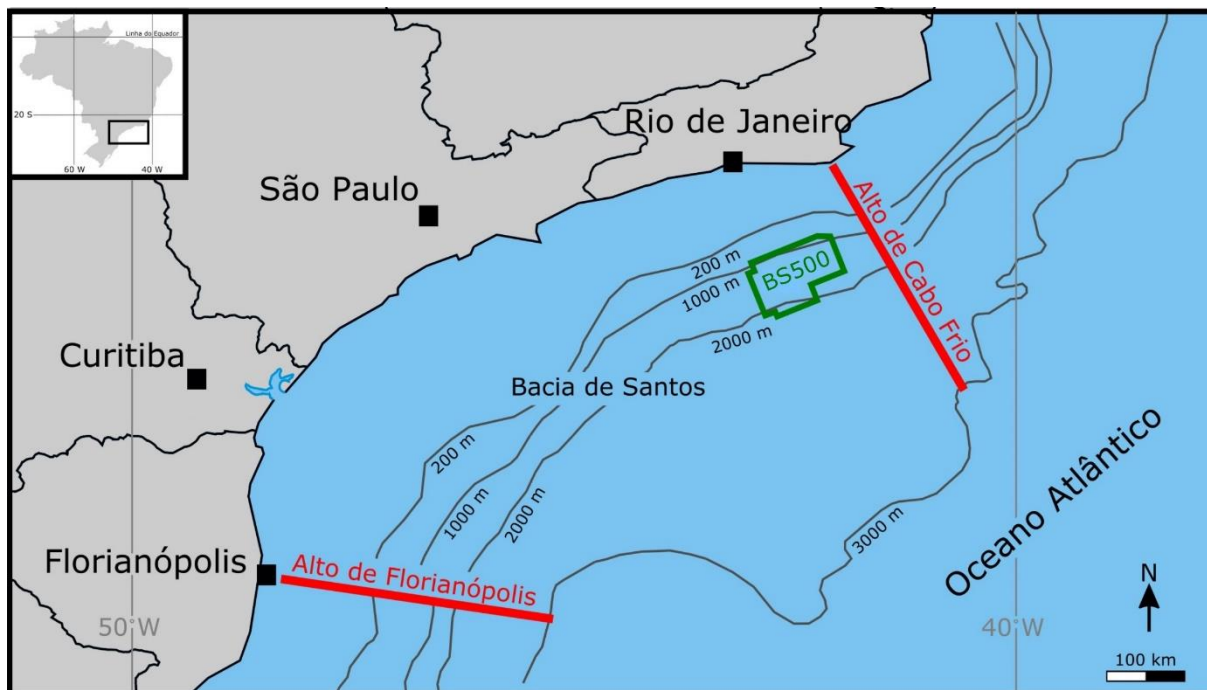
#### 3.2. Aquisição dos dados

A interpretação sísmica foi realizada a partir do conjunto de dados sísmicos 3D situado no setor proximal do levantamento BS500 e cedidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), através do Banco de Dados de Exploração e Produção (BDEP), pela política de cessão gratuita de dados para projetos de pesquisa em universidades. Estes dados estão disponíveis no banco de dados do Laboratório de Análise de Bacias (LABAP-UFPR).

A área de estudo localiza-se na porção norte da Bacia de Santos, no litoral sudeste do Brasil (Fig. 05). O volume sísmico 3D estudado faz parte do levantamento sísmico 3D BS500 proximal. O dado está apresentado em tempo duplo (Two Way Time), tendo sido adotada uma velocidade sísmica de 2000 m/s para estimativa de espessuras em metros.

Após selecionada a área de estudo, foi realizado o recorte do volume sísmico num intervalo de interesse de acordo com a ocorrência expressiva de um DTM, sua localização e a qualidade do dado sísmico. Esse depósito de transporte em massa

(DTM) é o mesmo descrito por Carlotto e Rodrigues (2009) (nomeado Escorregamento Maricá), porém, o volume sísmico estudado neste trabalho não contempla o depósito todo, sendo visível somente a sua parte mais proximal.



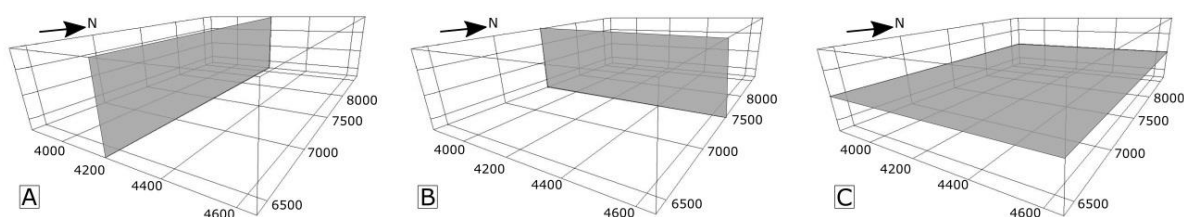
**Figura 05:** Mapa de parte do litoral sul-sudeste do Brasil, mostrando a Bacia de Santos limitada pelos Altos de Cabo Frio e Florianópolis. Em destaque a localização do levantamento 3D BS500 proximal (polígono verde), em cujo cubo sísmico de estudo está inserido.

### 3.3. Mapeamento de horizontes sísmicos

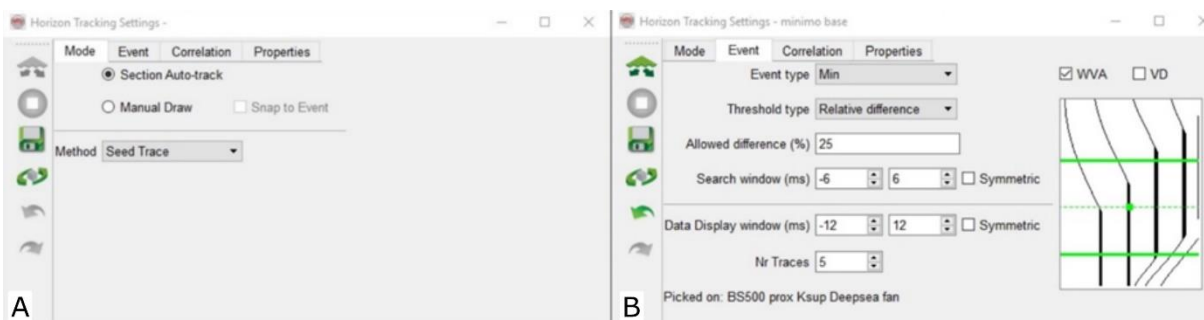
A interpretação sísmica foi realizada através do software de distribuição livre OpendTect 6.0.0, disponibilizado no Laboratório de Informática em Geologia (LIG). O processo de mapeamento dos horizontes sísmicos deu-se, inicialmente, pelo reconhecimento e análise de características dos refletores e fácies sísmicas, de acordo com os padrões de amplitude sísmica, frequência, geometria e continuidade (Mitchum et al, 1977).

A análise das fácies sísmicas serviu como base para a determinação de horizontes-alvo que auxiliassem no processo de caracterização do DTM estudado neste trabalho, em termos de sua morfologia e distribuição. Com isso, determinou-se que dois horizontes eram essenciais para esta caracterização, um que determina a superfície basal do DTM e o outro que delimita o seu topo.

Dentro do volume sísmico 3D há seções transversais (*cross-lines*) e longitudinais (*in-lines*) ao mergulho da bacia, além de seções arbitrárias (*random lines*) que podem ter suas direções modificadas de formas diversas, e seções horizontais (*z-slices*) (Fig. 06). Os horizontes 3D foram traçados utilizando o método de *tracking* no modo semi-automático (Fig. 07a). Para este método seleciona-se o tipo de evento de interesse (Fig. 07b), se um contraste de impedância negativo (min) ou positivo (max). O modo *autotracking* permite que o horizonte seja rastreado semi-automaticamente e de forma supervisionada, sempre que a amplitude correspondente ao contraste de impedância selecionado seja de fácil detecção.



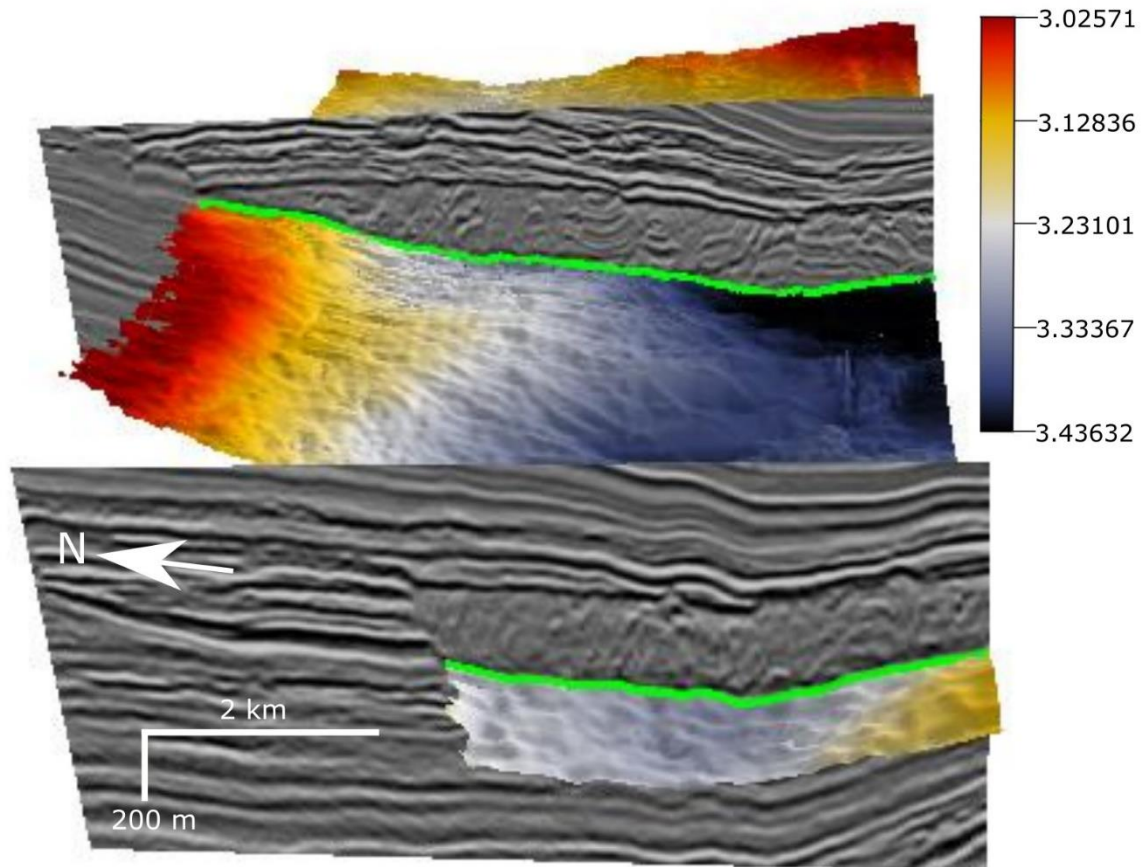
**Figura 06:** Seções que compõe o volume 3D. **A:** *In-line*, em corte longitudinal ao mergulho da bacia. **B:** *Cross-line*, em corte transversal ao mergulho da bacia. **C:** *Z-Slice*, em corte horizontal do volume sísmico, cortando várias linhas de tempo.



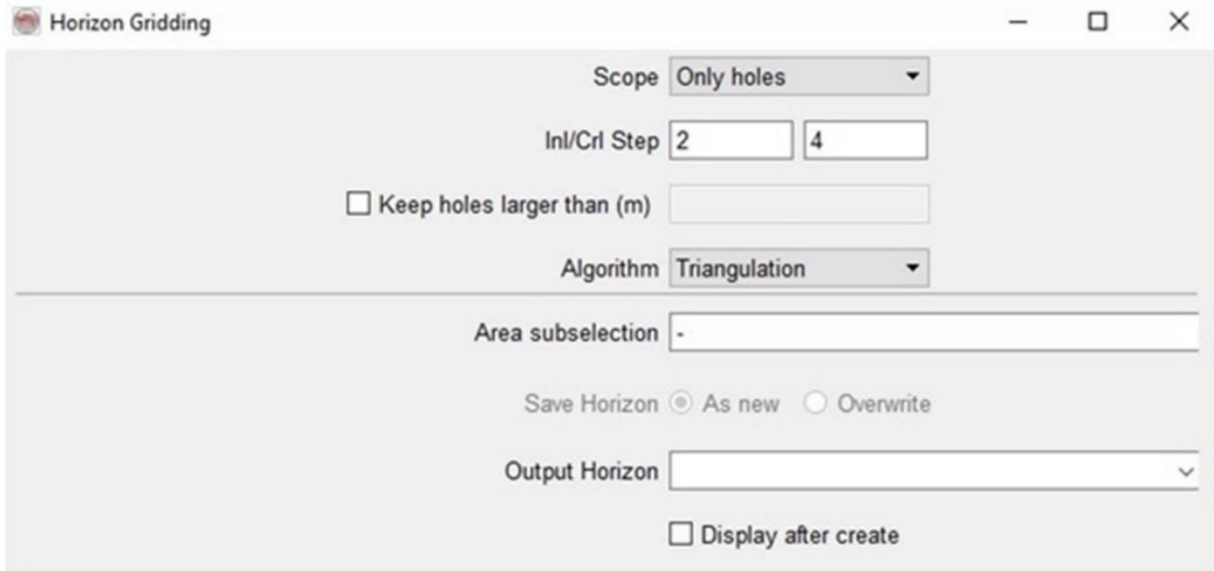
**Figura 07:** Interface do programa OpenTect 6.0.0 para traçado de horizontes 3D. **A:** Aba para seleção do modo de traçado, com a seleção da opção de tracking automático assinalada. **B:** Aba para seleção do evento a ser seguido no traçado, com um evento positivo (min) marcado.

Utilizando *in-lines* e *cross-lines* com espaçamentos de 2 e 4 *steps*, respectivamente, (cerca de 50 metros), foram traçados horizontes que ao serem correlacionados proporcionaram o mapeamento das superfícies de interesse (Fig. 08). Nesta fase do mapeamento sísmico foi necessário o adensamento do traçado para complementação das superfícies. Para tal, utilizou-se a ferramenta *gridding*, com algoritmo de triangulação, para interpolar áreas não preenchidas pela correlação semi-automática (Fig. 09). Ainda assim, algumas áreas, cuja sísmica estava

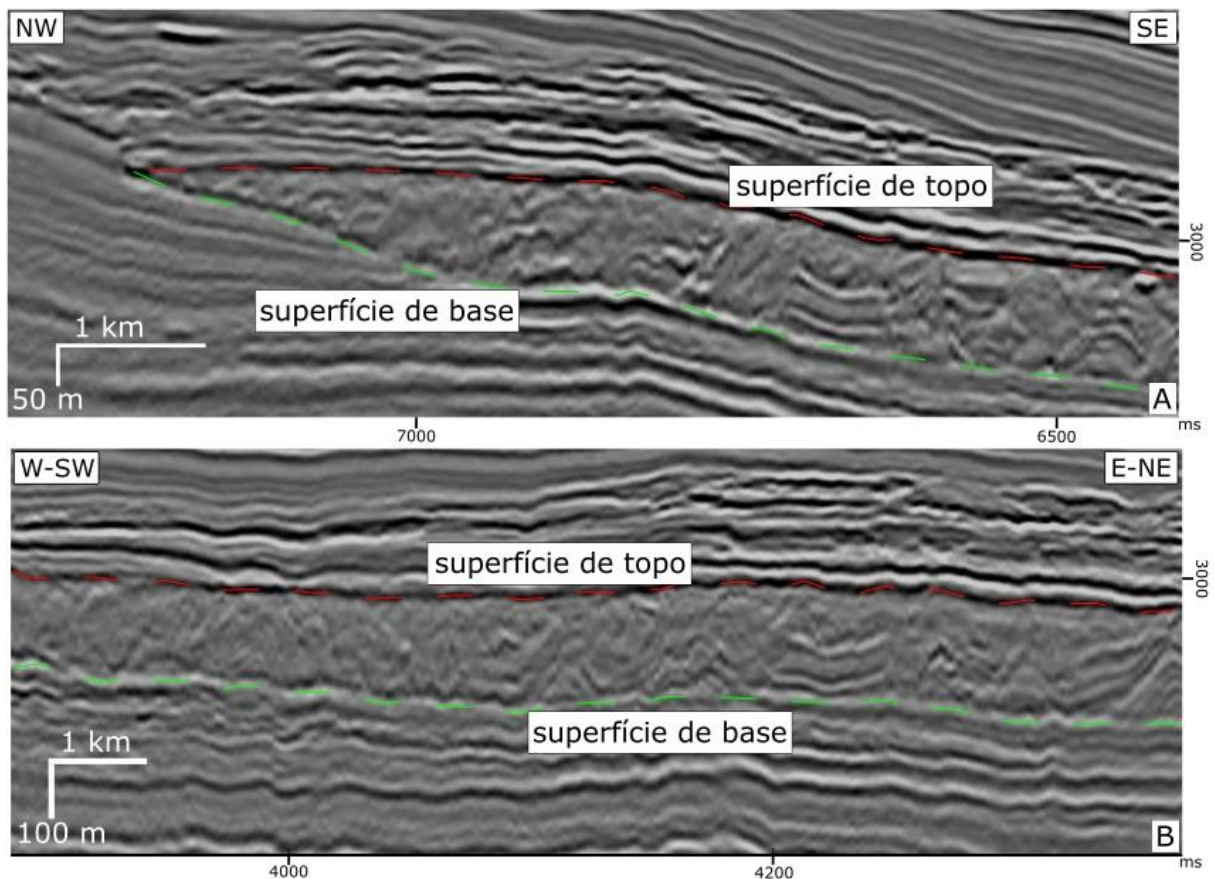
distorcida, precisaram ser mapeadas manualmente. Para o mapeamento da superfície basal do DTM, foi utilizado um refletor de alta amplitude negativa (pico branco), enquanto a superfície do topo do depósito foi determinada por um refletor de alta amplitude positiva (pico preto) (Fig. 10).



**Figura 08:** Imagem de *in-lines* em escala de cinza da superfície basal gerada pelos horizontes traçados segundo um pico branco (alta amplitude negativa). Superfície basal gerada em contraste com o padrão caótico dos refletores ao longo de todo o volume sísmico.



**Figura 09:** Interface do programa OpendTect 6.0.0. Janela da ferramenta *gridding* de um horizonte 3D usada para preenchimento “somente de buracos” usando o algoritmo triangulação.



**Figura 10:** Imagem das superfícies de topo, pico máximo (linha amarela), e base, pico mínimo (linha verde) traçadas. **A:** Imagem de *in-line* da porção sudoeste do depósito. **B:** Imagem da porção central da *cross-line*, numa porção central do depósito.

### 3.4. Análise e Interpretação dos dados

Para fins de interpretação sísmica, as principais variáveis que são consideradas estão sucintamente definidas na tabela 01.

Variável	Definição
Impedância acústica	Produto da velocidade pela densidade
Amplitude	Intensidade de contraste de impedância acústica, podendo ser positivo ou negativo
Velocidade	Velocidade de propagação de um impulso sísmico em subsuperfície
Tempo duplo (TWT)	Tempo de ida e volta da onda sísmica

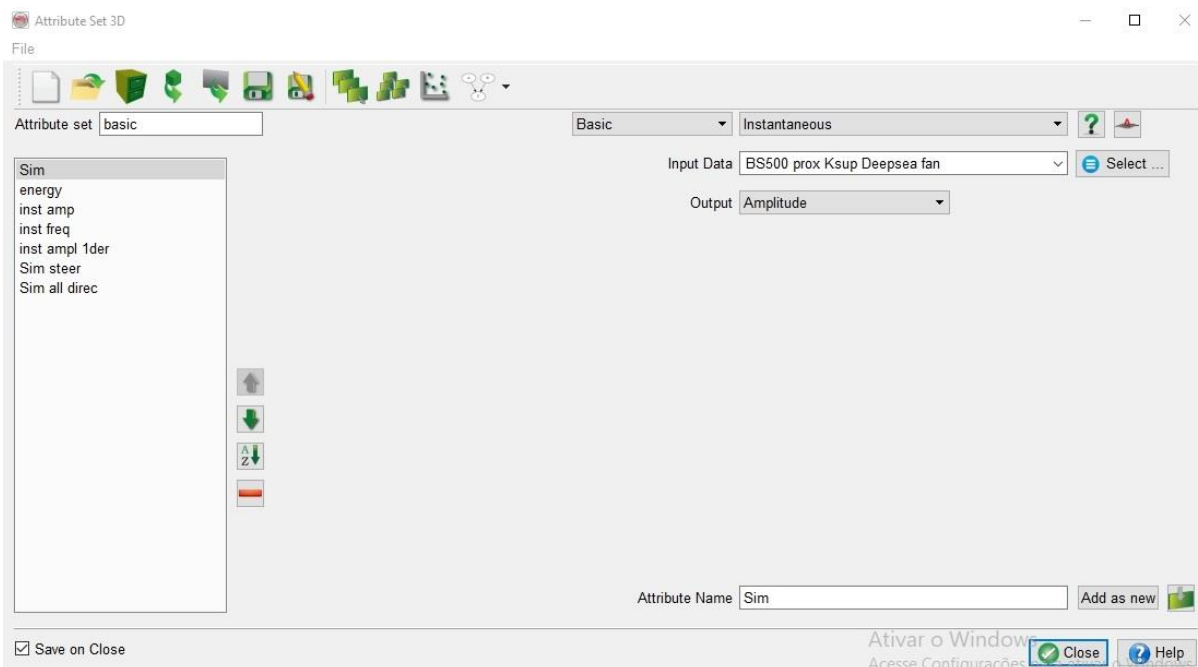
**Tabela 01:** Tabela das principais variáveis utilizadas na interpretação sísmica

O programa OpendTect 6.0.0 admite o uso de atributos sísmicos para salientar algumas características em horizontes previamente mapeados e *z-slices*. Foram utilizados dois atributos, denominados de: “Instantaneous” e “Similarity”.

Atributos	Definição
Amplitude Instantânea	Realça amplitudes de contrastes de impedância acústica
Similaridade em todas as direções (“ <i>Similarity all directions</i> ”)	Realça a semelhança de segmentos em termos de amplitude e forma de onda, considerando a variação de mergulho
Similaridade (simples)	Realça a semelhança de segmentos em termos de amplitude e forma de onda sem levar em consideração o mergulho

**Tabela 02:** Resumo dos atributos utilizados na interpretação sísmica.

Neste trabalho, o atributo “instantaneous” foi usado para discriminar variações instantâneas de amplitude da onda (Fig. 11). A amplitude instantânea representa principalmente o contraste de impedância acústica, ou seja, a refletividade, mostrando indiretamente possíveis variações litológicas.

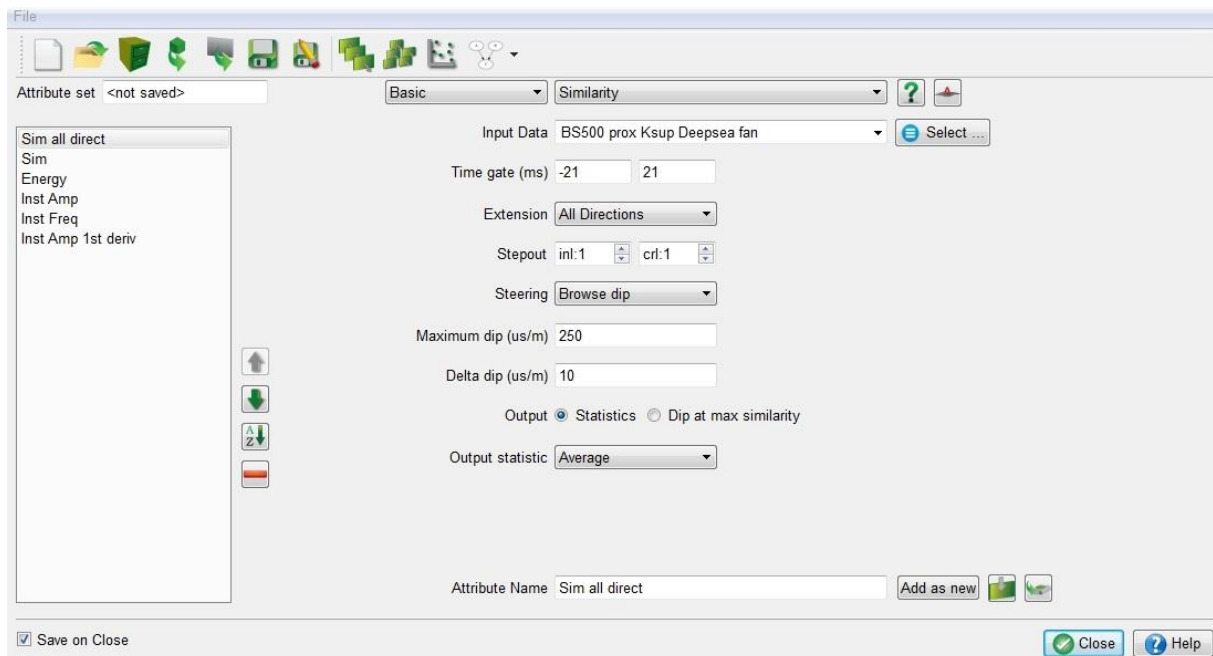


**Figura 11:** Interface do programa OpendTect 6.0.0, janela de atributos. Seleção do atributo “instantaneous” para interpretação de variações instantâneas de parâmetros.

O atributo “Similarity” reflete semelhanças de segmentos em termos de amplitude e forma de onda, se idênticos ou completamente distintos (Fig. 12). No OpendTect, a abordagem usada leva em consideração o mergulho dos refletores. Pode-se definir no campo extensão a direção dos traços a serem analisados pelo atributo, optando pela análise de traços ortogonais, por exemplo, ou uma análise de todos os refletores do bloco sísmico.

Como o depósito estudado tem uma morfologia que envolve muitas variações de mergulhos, para a superfície de topo foi utilizada a opção “todas as direções” no campo “extensão”, que tem alto grau de precisão na análise. Além disso, a fim de uma maior coerência nos mergulhos encontrados, no campo “steering” (direção) usou-se a opção “*browse dip*”.

Para a análise de seções *z-slice* utilizou-se o atributo “Similarity” com uma configuração mais simples, uma vez que se analisa linhas de tempo sísmico distintas e os traçados são horizontais, portanto, não cabe o processamento de mergulhos.



**Figura 12:** Interface do programa OpendTect 6.0.0, janela de atributos. Seleção do atributo “Similarity” para interpretação de semelhanças entre segmentos em relação a amplitude e forma de onda. A imagem mostra a configuração mais completa, que leva em consideração os mergulhos dos refletores.

## 4. RESULTADOS

A partir da análise integrada dos horizontes sísmicos, de sismofácies, da geomorfologia sísmica e de mapas de atributos o depósito de transporte em massa estudado foi caracterizado em termos de sua morfologia e distribuição, estruturas condicionantes e feições internas.

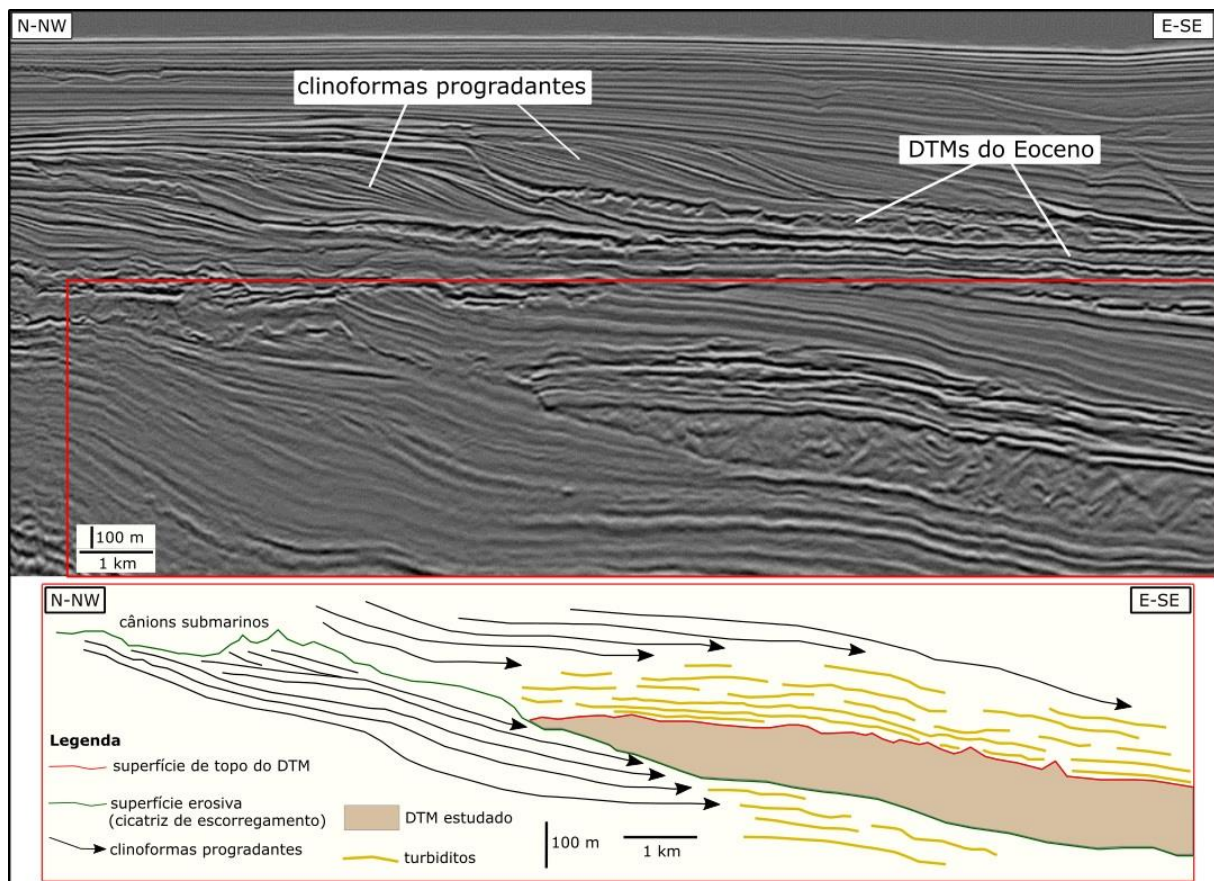
A utilização das seções transversais (*cross-lines*), longitudinais (*in-lines*) e arbitrárias (*random lines*) auxiliou no imageamento de estruturas deformacionais e aspectos morfológicos do depósito. Apesar da seção *z-slice* cortar diversos refletores sísmicos, esta é bastante útil para a análise de corpos imersos à matriz do DTM, justamente por proporcionar uma visão horizontal, o que possibilita o diagnóstico desses corpos e inferências com relação às suas dimensões a partir da determinação da distribuição e regularidade dos padrões de refletores.

As interpretações e dados coletados sobre blocos “em jangada” (*rafted*), que são blocos que foram transportados pelo fluxo gravitacional, dispersos no depósito, deram-se pela comparação de refletores tanto em *in-lines* e *cross-lines*, pela continuidade e relação entre si, quanto pela resposta sísmica em seções *z-slice*.

A divisão de depósitos de transporte em massa em domínios, como realizado por Carlotto e Rodrigues (2009), Stow *et al.* (1996) e Bull *et al.* (2009), por exemplo, não foi adotada neste trabalho, uma vez que o volume sísmico estudado não abrange o depósito por inteiro e saber que este estende-se por uma área ainda maior.

#### 4.1. Arcabouço Estratigráfico Regional

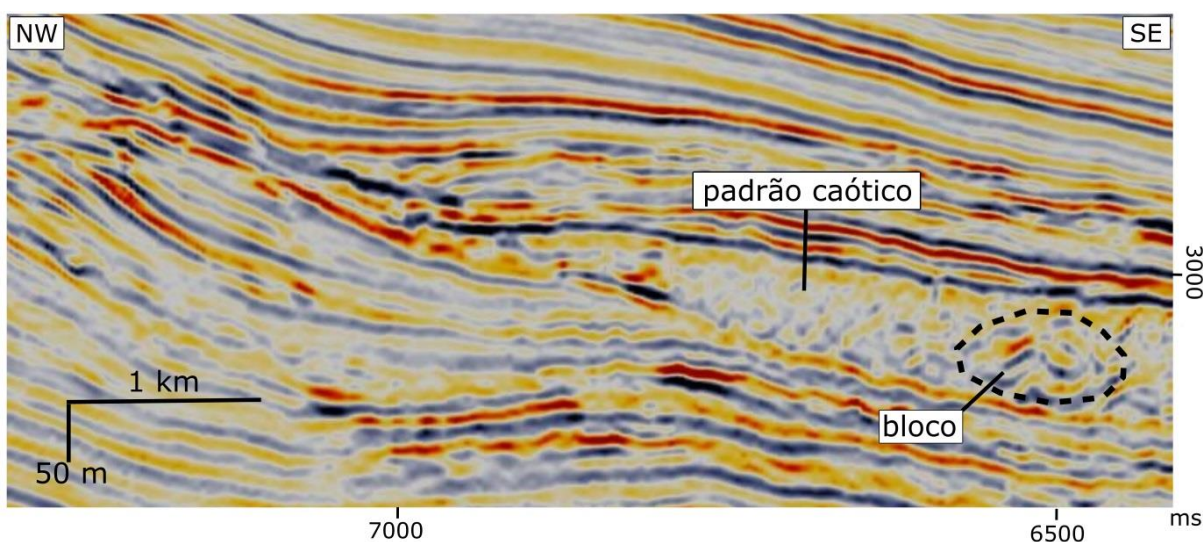
Em seção sísmica do volume estudado (Fig.13) é possível verificar algumas feições que constituem o arcabouço estratigráfico regional, como depósitos de transporte em massa (p. ex. Escorregamento Maricá, estudado neste trabalho e DTMs do Eoceno) associados a superfícies erosivas, como cicatrizes de escorregamentos, turbiditos arenosos, dispostos em regiões de sopés de taludes e possíveis cânions submarinos. As posições estratigráficas dessas feições são interessantes pois constituem importantes relações para sistemas petrolíferos, como a presença de turbiditos arenosos sotopostos a DTMs, e acima dos mesmos, envolvidos por estratos cujos refletores indicam caráter mais lamoso dos sedimentos.



**Figura 13:** Imagem de seção sísmica *in-line* mostrando sismofácies regionais da área de estudo. No polígono em vermelho o esquema das principais feições que abrangem este trabalho.

## 4.2. Características externas do DTM

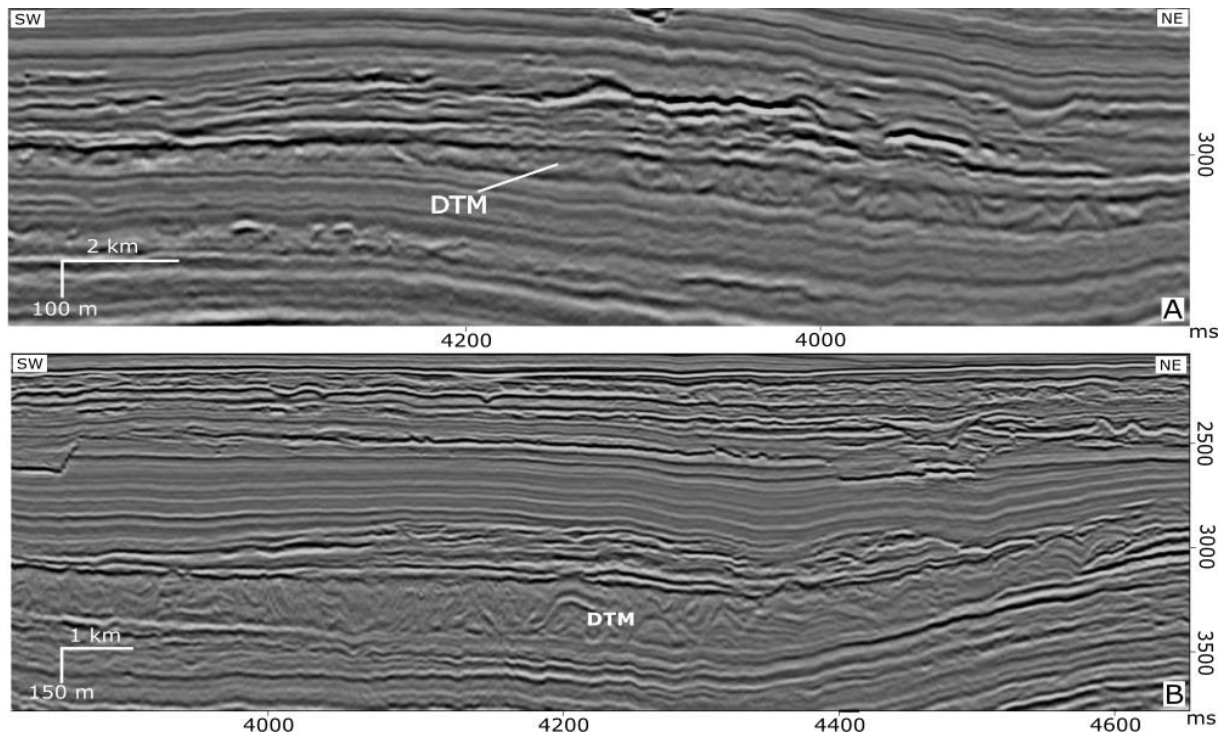
O depósito estudado tem uma geometria em forma de cunha vista em corte transversal (*in-line*), com uma superfície de base ondulada, enquanto a superfície de topo tem um formato convexo para baixo na região próxima ao talude. Na região distal, nas porções leste e sudoeste, apresenta uma leve concavidade para cima (em *cross-lines*), relacionada a processos deformacionais posteriores, evidente pelo fato de que estratos inferiores e superiores ao depósito mostram as mesmas características. Posiciona-se paleogeograficamente no sopé de um paleotalude com desnível aproximado de 950 metros, medido pela distância vertical da base do talude até a possível cicatriz de escorregamento na borda da plataforma. É caracterizado por uma sismofácies de padrão caótico, cujos refletores contorcidos apresentam, em geral, amplitudes baixas a moderadas (Fig.14).



**Figura 14:** Seção *in-line* da porção oeste do depósito mostrando o padrão caótico caracterizado por refletores contorcidos, em destaque um bloco definido por refletores contínuos dobrados.

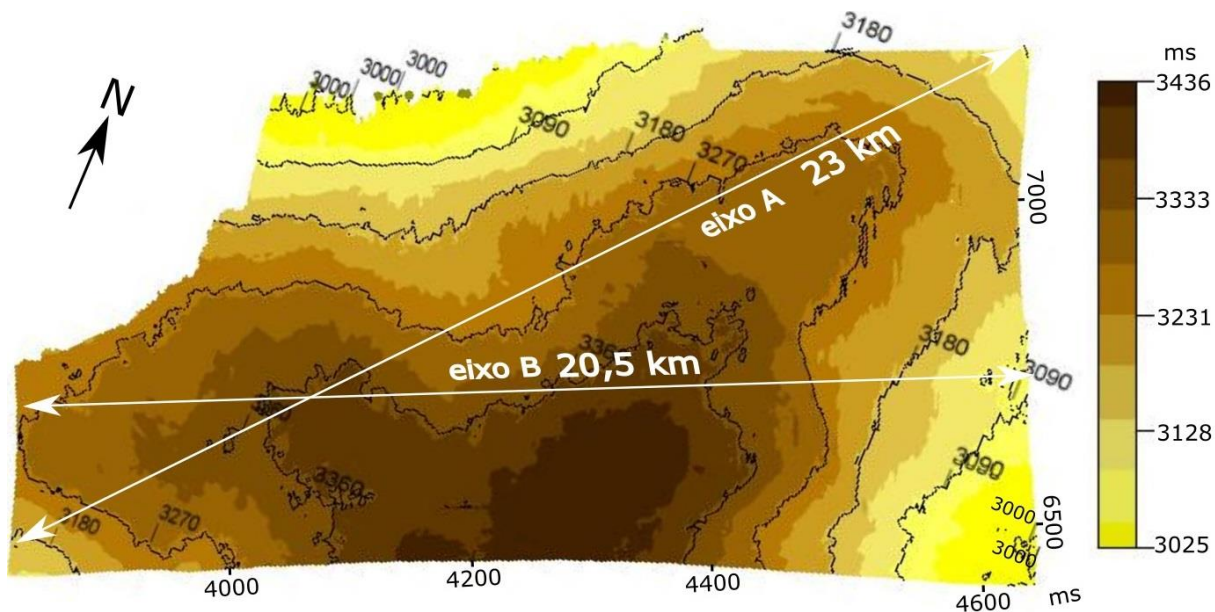
Ao longo do depósito, da parte proximal a distal, há uma nítida variação de espessura do DTM. Na porção junto ao talude, na parte NE (Fig. 15a) é onde o depósito pode ser verificado inicialmente. A partir dessa posição, seguindo para regiões a sul e sudoeste, o depósito aumenta de espessura atingindo valores entre 250 e 350 metros (Fig. 15b). Ao longo do volume sísmico a espessura do depósito varia conforme a topografia subjacente e a estruturas limitantes. A partir de análises por seções *in-line* é que se verifica a variação de espessura e a forma de cunha que o depósito adquire. Em seções transversais (*cross-lines*) percebe-se pouca variação lateral da espessura do DTM, havendo um leve adelgaçamento para as bordas.

As dimensões do depósito são bastante significativas, apesar de o cubo sísmico não o contemplar por inteiro, são aproximadamente, 23 km no eixo A e 20,5 km no eixo B, medidos a partir da superfície de base do DTM. O eixo maior indica uma direção geral com sentido N-NE/S-SW, havendo maiores espessuras na região centro-sul do depósito, onde as curvas de contorno de valores de Z chegam a 3436 milisegundos (ms) (Fig. 16).

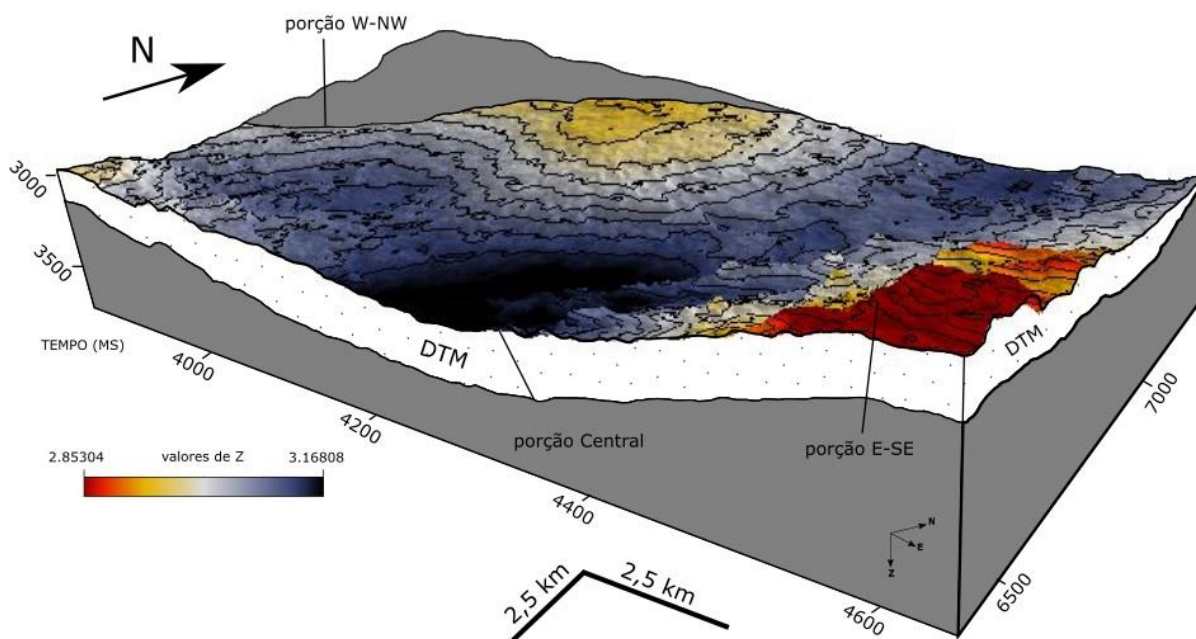


**Figura 15:** Seções sísmicas *cross-lines*. **A:** porção NE onde o depósito apresenta espessuras em torno de 40 metros. **B:** região central do depósito onde se percebe sua maior espessura (entre 250 e 350 metros) e seu adelgaçamento em direção às laterais, com a base em geral plana e o topo mostrando uma leve convexidade na porção central e o arqueamento pós-deposicional da parte NE.

Não é possível diagnosticar limites laterais no depósito. Entretanto, verifica-se na porção W-NW (Fig. 17) uma superfície limítrofe de alto ângulo, ao longo da qual refletores subjacentes são truncados pelo DTM. Já na parte E-SE, o depósito não tem limite visível, ocorrendo regularmente até o fim do volume 3D.



**Figura 16:** Mapa de contorno estrutural da superfície basal do DTM, mostrando os principais eixos do depósito. As linhas de contorno estrutural mostram valores mínimos e máximos de Z em milissegundos.



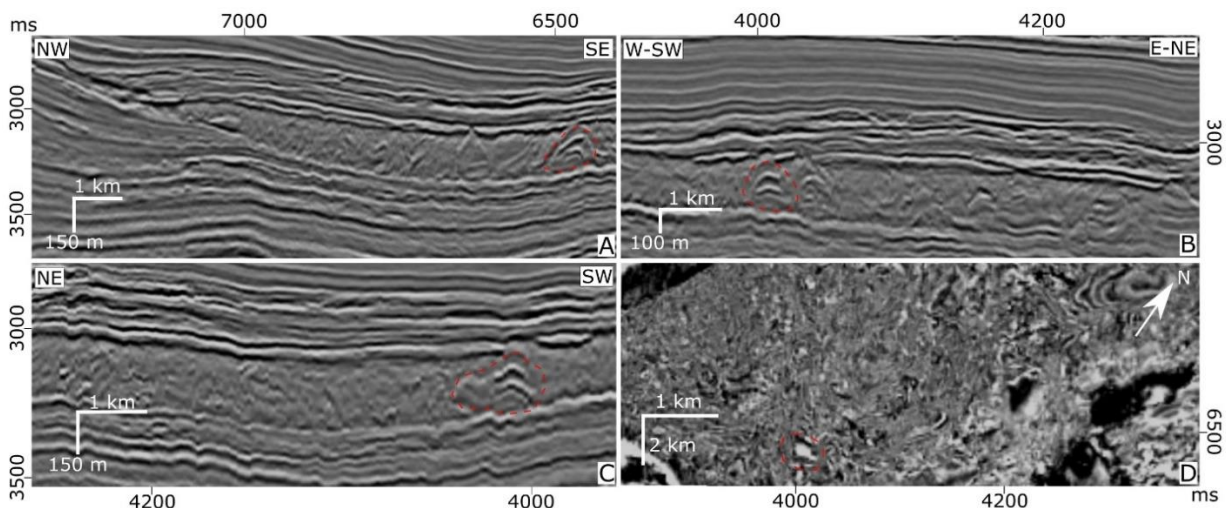
**Figura 17:** Bloco-diagrama esquemático mostrando a topografia da superfície do DTM e seu contorno estrutural. Valores de Z dão noção do relevo subjacente ao depósito. Estão indicados no bloco porções do depósito mencionadas durante do texto, para auxiliar na localização das caracterizações.

### 4.3. Estrutura Interna

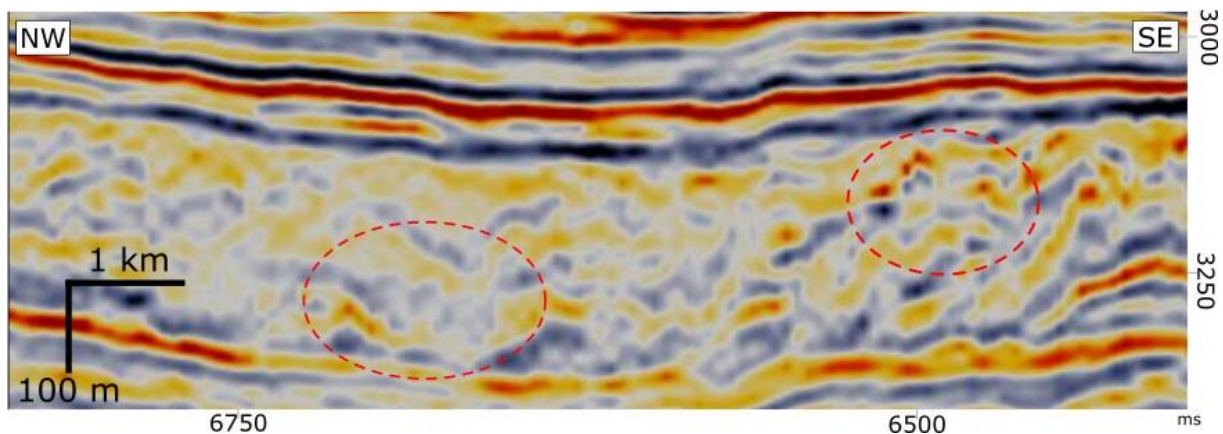
Internamente ao DTM são reconhecidos aspectos que podem ser usados para compreender o comportamento do movimento de massa. A baixa amplitude dos refletores remete a uma composição de sedimentos predominantemente lamosos. Em meio a esta matriz caótica ocorrem porções de refletores mais regulares e de amplitude moderada, que indicam blocos de materiais coesos que refletem processos sofridos pelo fluxo. Estes blocos são interpretados como blocos “em jangada” (rafted blocks) quando apresentam características de deformações, estruturas de dobramentos e distensionais, que indicam deformação durante o movimento do fluxo, caracterizando-os como blocos que foram transportados durante o processo. Ocorrem ainda blocos remanescentes, os quais não aparentam terem sido carregados pelo movimento de massa e possuem continuidade física com os estratos sotopostos.

Estes blocos “em jangada” possuem diversos tamanhos, desde dezenas de metros a até 3,5 km, em seus eixos maiores. São visualizados a partir de seções *z-slice* pela diferença de impedância acústica às suas adjacências, em seções *in-line*, *cross-line* e seções arbitrárias pela continuidade de refletores em meio ao depósito (Fig. 18). Alguns apresentam refletores sub-horizontais, que aparentemente preservam o acamadamento original, outros refletores mostram-se ondulados indicando processos deformacionais. Feições deformacionais podem ser reconhecidas internamente ao depósito, como pelo espessamento local dos estratos em refletores contínuos que se mostram como blocos dobrados (Fig. 19).

À medida em que os sedimentos são transportados talude abaixo, o atrito da topografia do substrato com o movimento do fluxo de massa faz com que o material mobilizado seja comprimido e compactado em eventos sucessivos. A medida em que ocorre a compressão, a falta de espaço gera o imbricamento dos sedimentos, mostrado por feições de dobras internas. O caráter coeso desses blocos mostra-se na superfície acima do depósito. Em *in-lines*, saliências na superfície de topo mostram que grandes blocos moldam a topografia gerando elevações no terreno.

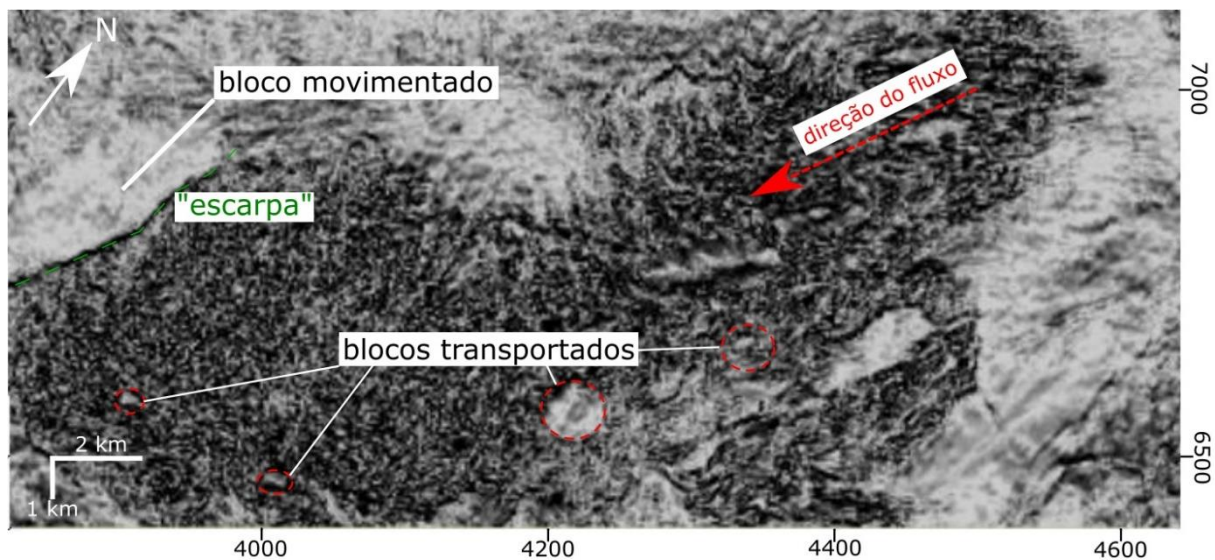


**Figura 18:** Expressão sísmica de um bloco transportado, com altura aproximada de 130 metros e cerca de 720 metros de comprimento. Os refletos de pico branco contínuos caracterizam o bloco deformado, destacado pelo polígono em linha vermelha tracejada. **A:** visão do bloco em *in-line*. **B:** visão do bloco em *cross-line*. **C:** Visão do bloco em *random line*. **D:** visão do bloco em *z-slice*.

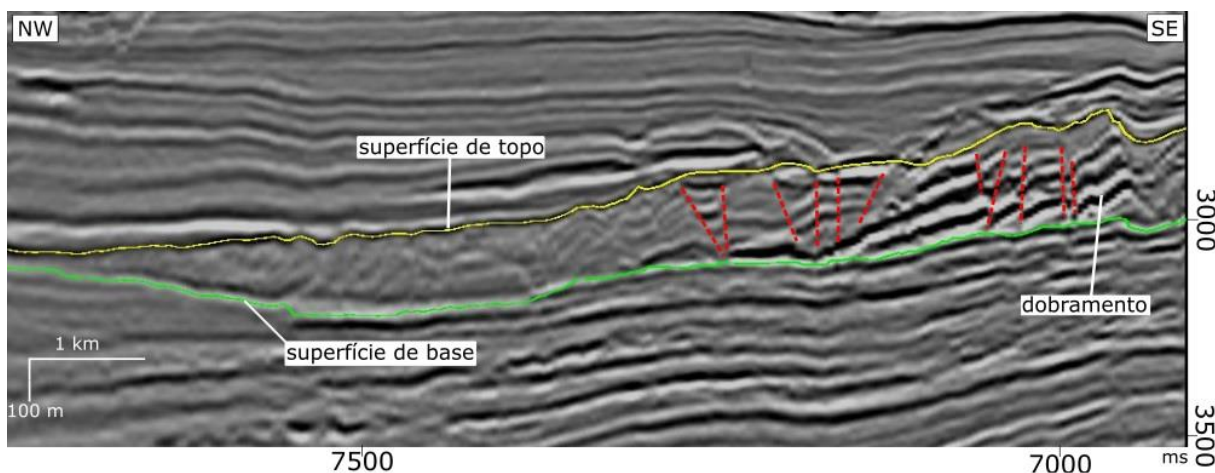


**Figura 19:** Imagem de feições deformacionais em meio a matriz do depósito, destacando (círculos vermelhos tracejados) espessamento local dos estratos, indicativo de deformação sin-deposicional.

A partir de seções *z-slice* de porções inferiores do depósito (Fig. 20) pode-se averiguar uma diminuição do tamanho de blocos “em jangada” segundo o eixo A (maior dimensão) do depósito, apontado na Figura 16. Além disso, a direção geral em que ocorre a diminuição do tamanho dos blocos vistos na figura 20 dá a ideia de que o fluxo coincida com a direção do eixo maior do depósito, de N-NE para S-SW. Na porção leste do depósito (Fig. 21), verificam-se blocos com estruturas rúpteis associadas a feições de dobramentos. Os blocos menores, provenientes da deformação rúptil, se rearranjam em processos de cavalgamento e a resposta desses movimentos é vista na topografia da superfície.



**Figura 20:** Imagem de seção *z-slice* da porção basal do DTM, tendo sido utilizado o atributo Similarity (configuração simples) para atenuar contrastes de amplitude. Alguns blocos são apontados em linhas tracejadas vermelhas e suas dimensões dão ideia da progressiva diminuição de suas medidas sentido sul. Na porção W-SW é apontado um bloco movimentado que atua como limite para o DTM.

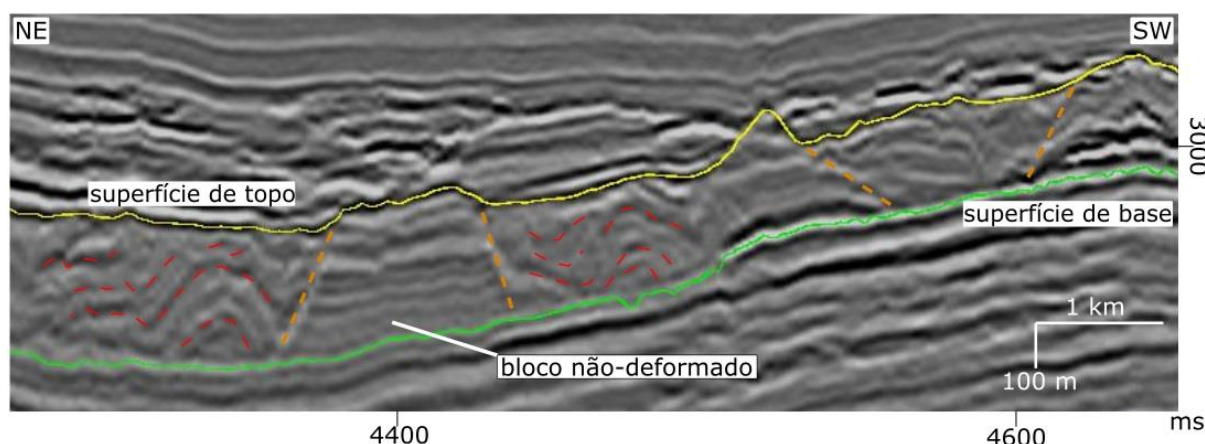


**Figura 21:** Imagem de *in-line* da porção leste, mostrando um grande bloco em processo de dobramento com falhas associadas. Topografia superior é alterada pelo rearranjo dos blocos falhados. Atentar para o fato da superfície basal do bloco em deformação ser irregular, característica importante para dizer que tal bloco não é remanescente.

As falhas assim como os flancos de dobras podem ser utilizadas para análise da direção do fluxo. São feições importantes dentro do DTM, pois colocam refletores de amplitudes distintas lado a lado, o que pode caracterizar locais de estudos sobre sistemas petrolíferos, ainda mais em se tratando de blocos de dimensões quilométricas, possivelmente arenosos, devido ao pico de alta amplitude.

A irregularidade da superfície superior do DTM provém predominantemente destes blocos coesos que têm suas extremidades salientadas pelo relevo. Além dos blocos “em jangada”, podem ser reconhecidos blocos não-deformados

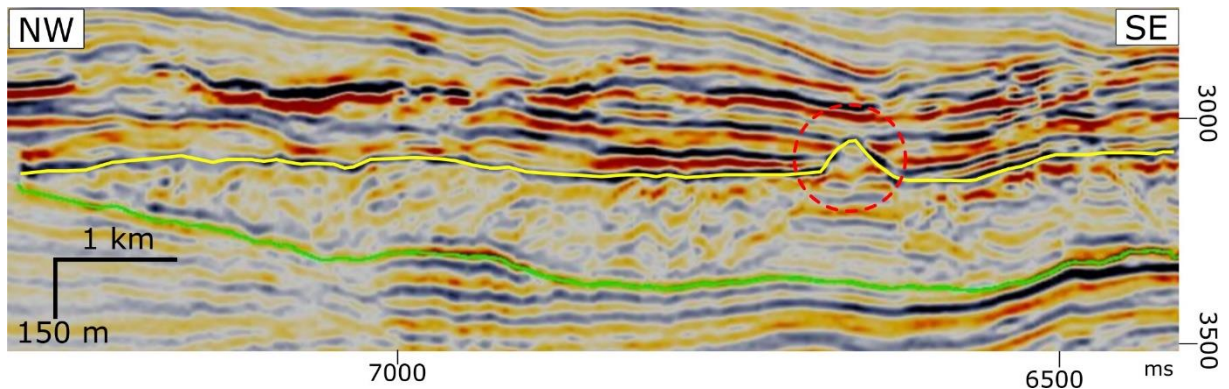
(remanescentes) atuando nesse controle do relevo. Blocos remanescentes remetem a corpos *in situ* que não foram removidos pelo movimento de massa. Uma característica destes blocos é a continuidade dos refletores em relação aos estratos basais, numa relação de empilhamento estratigráfico “original”. Eles têm um papel importante no rearranjo interno do depósito podendo ocorrer feições deformacionais em suas adjacências devido ao aspecto compressivo que o corpo de escorregamento adquire ao se deparar com esses blocos, que servem como anteparos ao fluxo (Fig.22). Uma vez que não são deformados e carregados pelo evento de transporte, esses blocos, por estarem em locais onde são mais altos que a espessura do depósito, apresentam-se com seus topos acima da superfície de topo do DTM como “morros testemunhos”.



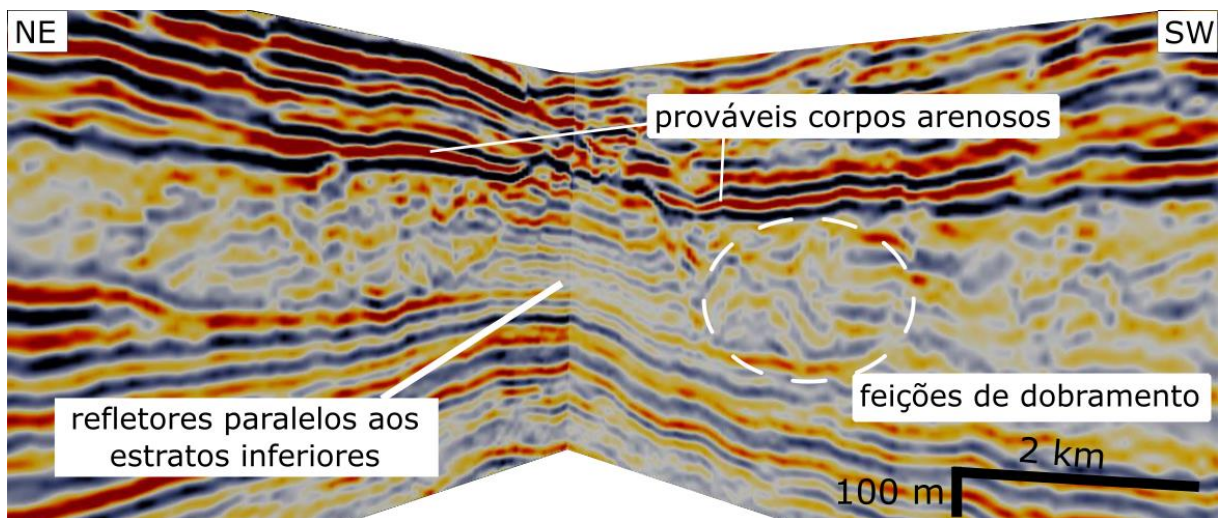
**Figura 22:** Imagem de *cross-line* na porção central, domínio E-SE. O bloco remanescente serve como barreira para o movimento do fluxo gerando dobramentos (linhas azuis pontilhadas) do material transportado. Algumas falhas (linhas vermelhas pontilhadas) podem estar associadas ao contato entre os dobramentos e os limites dos blocos remanescentes.

Um dos principais blocos remanescentes diagnosticado no estudo que atua como “morro testemunho” (Fig. 23) tem altura e comprimento estimados em 30 metros e 4 km, respectivamente. A visão deste bloco em seções longitudinais e transversais mostra o padrão de refletores paralelos aos estratos basais ao DTM. Diferente dos blocos “em jangada”, blocos remanescentes são difíceis de serem dimensionados em seções *z-slice*, justamente pelos refletores internos serem subhorizontais, o que não marca contrastes de impedância acústica e possibilita a visualização de seus limites. A irregularidade da topografia causada não só pelos blocos remanescentes, mas também pelos próprios blocos “em jangada”, propicia a acumulação e confinamento de estratos subjacentes. Alguns corpos, possivelmente arenosos, marcados por picos de alta amplitude sísmica (pico vermelho) podem ser verificados em diversas porções

acima do depósito, ocorrendo em *onlap* a essas irregularidades, principalmente nos morros testemunhos (Fig. 24).

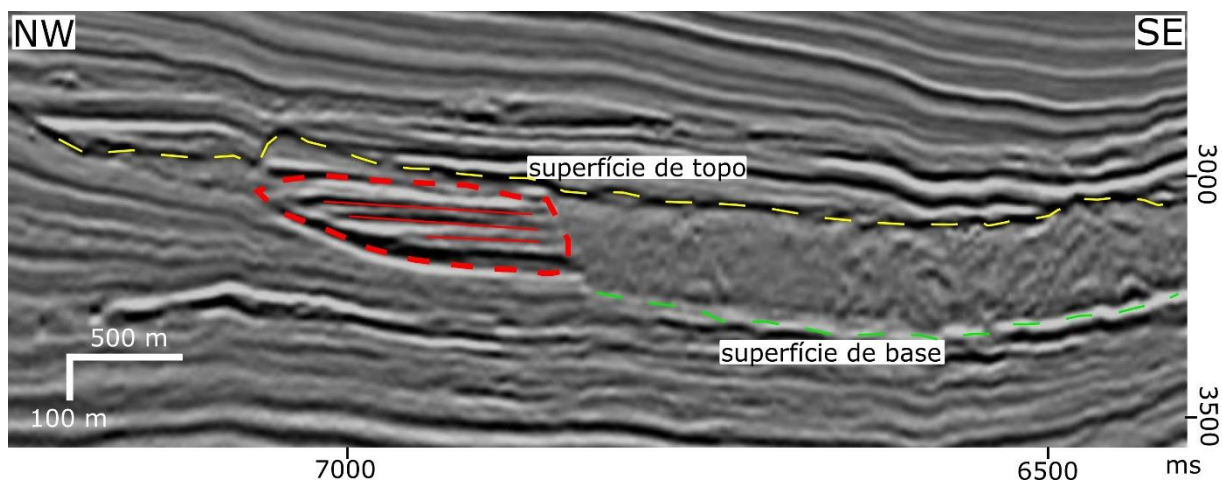


**Figura 23:** Imagem de *in-line* mostrando bloco remanescente, cujos estratos sub-horizontais acompanham os inferiores, sobressaindo-se à superfície de topo (linha amarela), caracterizando-o como um morro testemunho. O bloco possui cerca de 270 metros de altura e 2 km de comprimento.



**Figura 24:** Imagem em perspectiva do bloco apontado na figura anterior, gerada pelo cruzamento de seção *in-line* e *cross-line* dá ideia da forma e das feições deformacionais adjacentes que ocorrem associadas. Destaque para os refletores marcados por picos vermelhos de alta amplitude, possíveis corpos arenosos, terminando em *onlap* sobre a protuberância gerada pelo bloco acima do DTM.

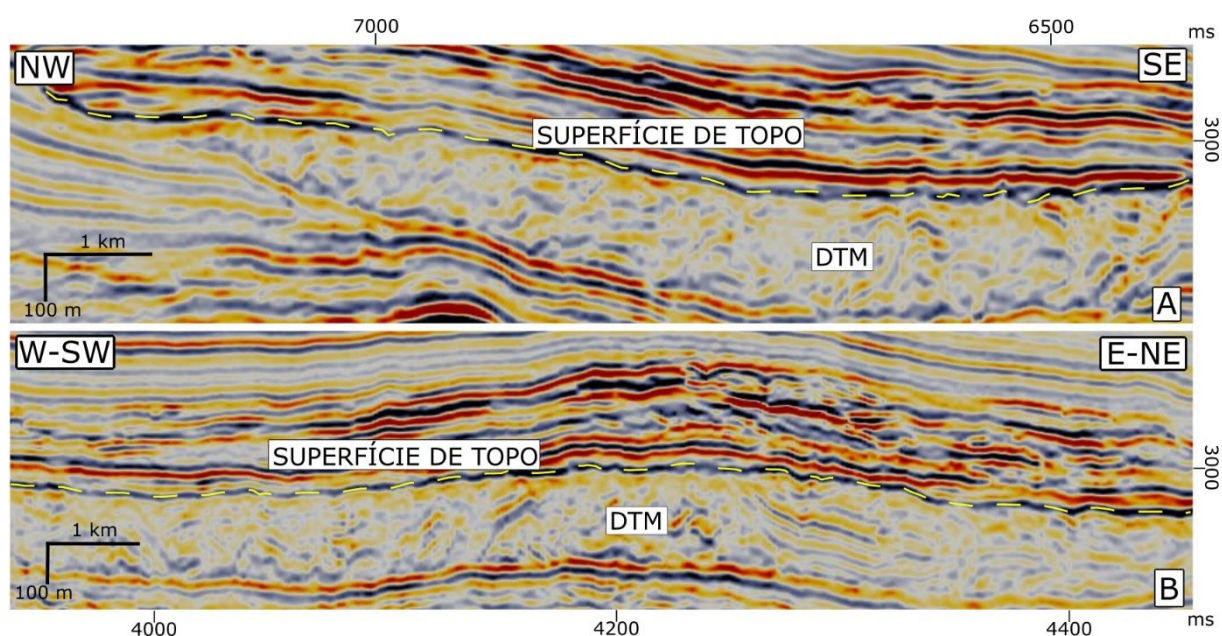
Na porção oeste, um grande bloco de dimensões estimadas em 5 km de comprimento e 240 m de altura (espessura), atua como uma superfície limitante do depósito (Fig. 25). Diagnosticado pelo contraste entre os refletores internos e a massa caótica do depósito, percebe-se não ser um bloco remanescente pelo fato de que o acamadamento interno deste corpo, por mais que esteja com os refletores paralelos entre si, não se apresenta concordante com o substrato do talude, indicado alguma movimentação.



**Figura 25:** Imagem de *in-line* da porção W-SW do DTM. Em vermelho, destaca-se o bloco alóctone (linha vermelha tracejada) que atua como limite lateral para o depósito nesta porção, verificado pelo contraste dos refletores que o compõe (linhas vermelhas contínuas) e o padrão contorcido dos refletores do DTM, truncando a superfície de base (linha verde tracejada). Além disso, o contraste ocorre também com os refletores do talude, o que aponta ser um bloco movimentado pela não correlação. É possível ainda verificar que a superfície de topo (linha amarela tracejada) recobre o bloco.

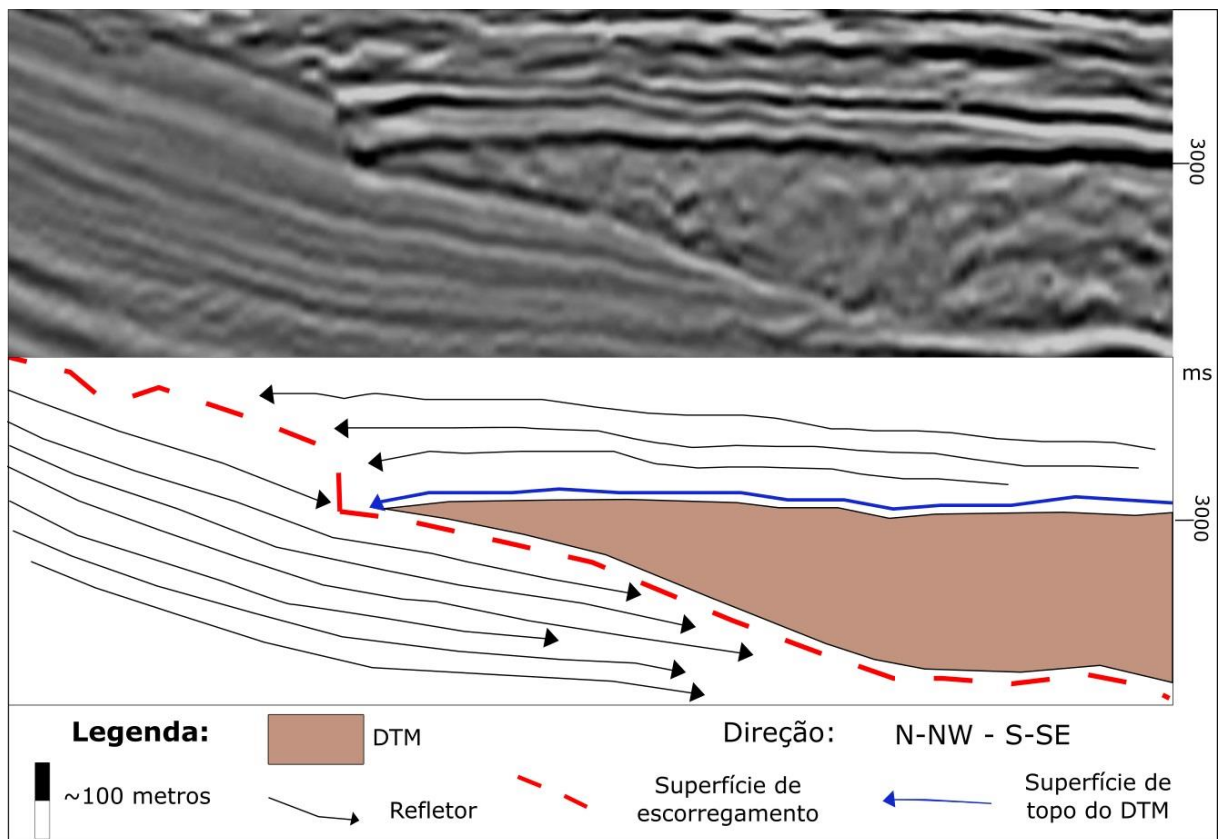
#### 4.4. Superfície de Topo do DTM

Mapeada segundo um pico preto de alta amplitude negativa (Fig. 26) logo acima dos refletores contorcidos que marcam o depósito, caracteriza-se por um refletor com terminação em *onlap* sobre a superfície do talude (Fig. 27). Este pico de baixa amplitude pode caracterizar sedimentos lamosos, pois marca um forte contraste de impedância acústica positiva com as camadas superiores (predominantemente arenosas) caracterizadas por refletores de altas amplitudes.

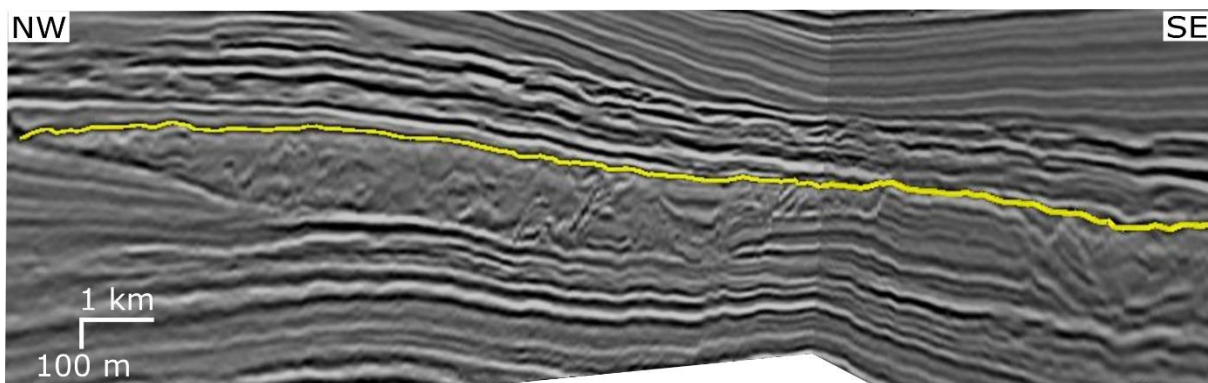


**Figura 26:** Superfície de topo do DTM marcada por um pico preto de baixa amplitude sísmica. **A:** visão de seção *in-line* numa porção W-SW do depósito. **B:** visão de seção *cross-line* numa porção central.

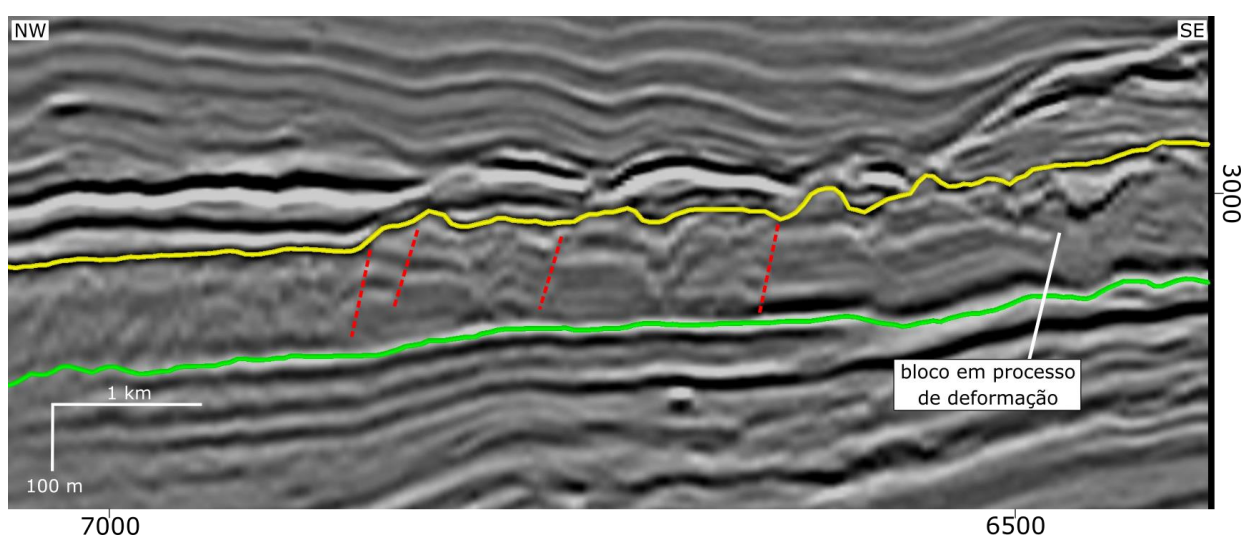
É uma superfície de aspecto convexo, originalmente, onde a porção central se mostra como mais espessa em sedimentos, havendo afinamento de espessuras para as laterais do depósito (Fig. 28). Porém, eventos de deformações regionais posteriores ao DTM remodelaram parte de sua forma, havendo, por exemplo, o arqueamento da porção leste-sudeste. Ocorre de forma irregular ao longo do depósito e apresenta-se quase de forma contínua, havendo descontinuidades interpretadas como resultantes de blocos remanescentes na forma de “morros testemunhos”. A descontinuidade e irregularidade da superfície ocorre devido ao fato de que grandes blocos de aspecto mais coerente (litificado) acabam moldando a topografia e controlando aspectos deposicionais subjacentes (Fig. 29). A porção leste do depósito apresenta mais essas irregularidades, podendo dever-se ao fato de estar numa região mais próxima do talude, onde os sedimentos remobilizados não passaram por grande transporte, não tendo sido tão erodidos.



**Figura 27:** Imagem interpretativa dos refletores em terminação downlap constituintes do talude e da superfície de escorregamento, que atua como uma superfície de truncamento para o refletor em terminação onlap que define a superfície de topo do DTM.

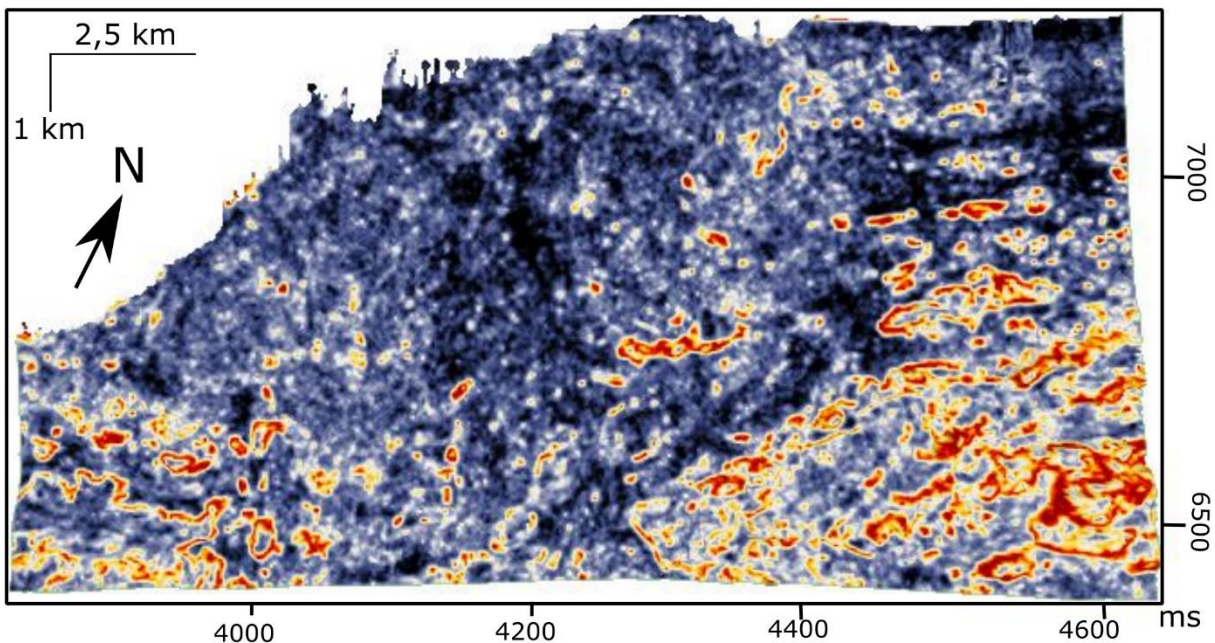


**Figura 28:** Superfície de topo em perspectiva de seção *in-line* da porção central e *cross-line* da porção oeste do DTM. A superfície é mais regular e contínua nesta porção.



**Figura 29:** Imagem de *in-line* da região central do depósito, no domínio E-SE. Blocos “em jangada” apresentam falhas, vistas na porção central da imagem. Em destaque, um bloco em processo de deformação, visto pela sinuosidade dos refletores internos.

Em contrapartida, na porção oeste do depósito, mais distal, onde os blocos já teriam sofrido processos de cominuição e desgaste pelo transporte, a superfície de topo é mais regular (Fig. 28). A parte do extremo sudoeste, porém, apresenta alguns blocos que se elevam sobre a superfície. Com isso, entende-se que por ser uma porção em que há um arqueamento do depósito, essa topografia do relevo sotoposto propiciaria que alguns blocos se elevassem. A aplicação do atributo “Similarity” com a configuração avançada para atenuar diferenças de mergulhos entre os refletores, acentua essas porções onde ocorrem irregularidades da superfície de topo (Fig. 30). Na parte leste do depósito, onde predominam as irregularidades e ocorrem mais blocos, tanto “em jangada” quanto remanescentes, pode ser observada uma tendência das estruturas num sentido N-NE/S-SW. Esta direção é interpretada como a direção do movimento do fluxo de massa.



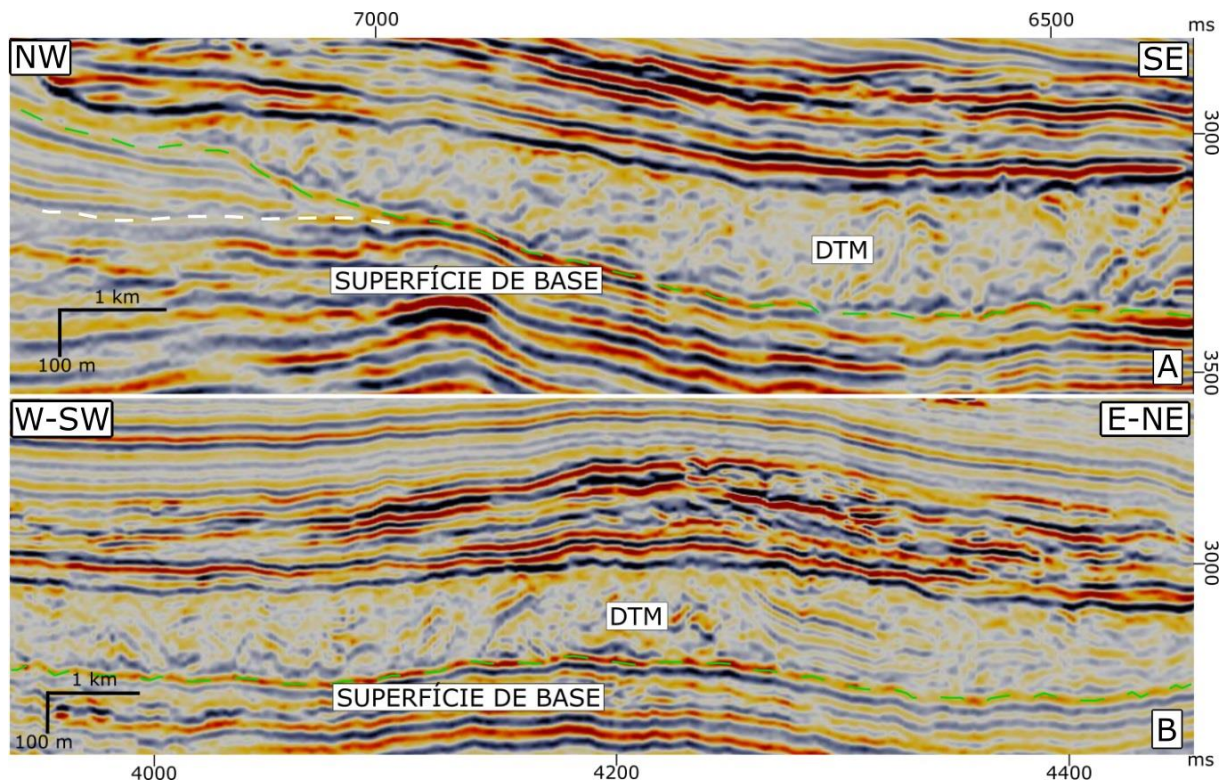
**Figura 30:** Mapa da superfície de topo com o atributo Similarity “all directions”. O atributo representa porções onde os refletores possuem semelhanças de amplitude, principalmente, considerando também o mergulho dos refletores. Na região leste são onde ocorrem morros testemunhos e blocos maiores deformados. As duas porções onde apresentam essas feições de amplitudes semelhantes coincidem também com o arqueamento do depósito, o que poderia elevar os blocos coerentes fazendo com que se destaquem na superfície.

#### 4.5. Superfície de Base do DTM

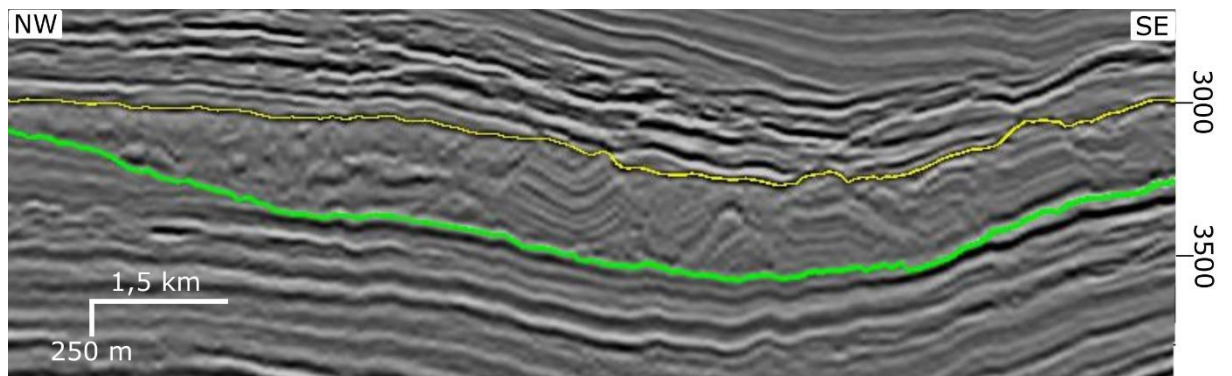
Assim como a superfície de topo, para o mapeamento da superfície basal ateuve-se somente aos limites do DTM, não tendo sido traçado horizontes talude acima. Esta superfície foi traçada segundo um pico de alta amplitude (amarelo/vermelho, Fig. 31) de fácil reconhecimento, sendo o primeiro horizonte possível de ser mapeado abaixo da sismofácies caótica. Geralmente onde ocorrem blocos remanescentes ou não deformados, que possuem sua base em contato com esta superfície, o reconhecimento é dificultado pela descontinuidade dos refletores.

Na porção do talude, a superfície basal coincide com a superfície de escorregamento do movimento de massa gerador do DTM. É uma superfície irregular e ondulada, com uma forma suavemente côncava, mais acentuadamente na porção distal vista em seção *cross-line* (Fig. 32), associada a processos deformacionais pós-deposicionais, visto que estratos inferiores e superiores ao DTM sofrem o mesmo movimento basculante. Os refletores que delimitam a superfície na parte de sopé possuem continuidade lateral com os refletores do talude (Fig. 31). Esses refletores de alta amplitude no sopé das clinofomas do talude são característicos de turbiditos

arenosos. Com isso, pode-se afirmar que os estratos que compõem a superfície não são provenientes do movimento de massa e sim anteriores.



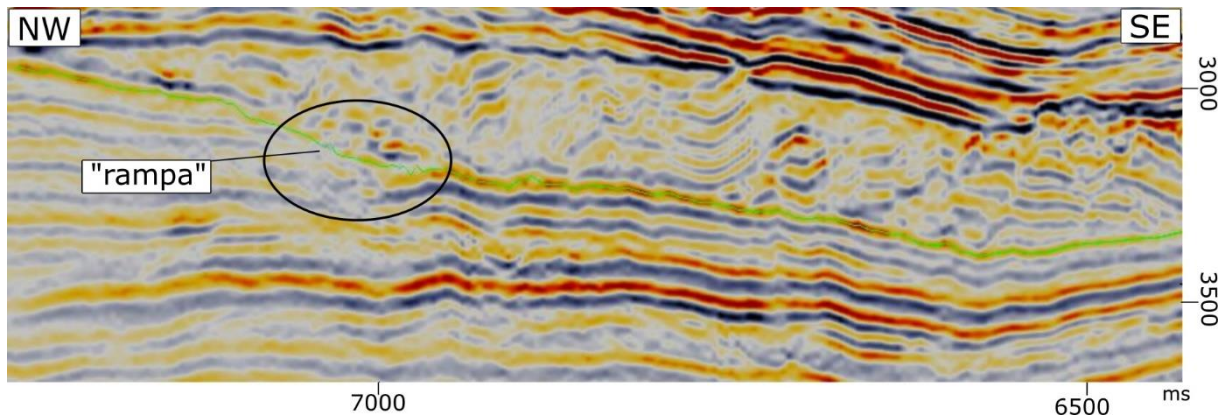
**Figura 31:** Superfície de base do DTM, marcada por um pico amarelo/vermelho de alta amplitude sísmica. **A:** seção *in-line* da superfície de base do depósito numa porção W-SW. A linha branca tracejada na parte NW mostra que a superfície de base tem continuidade lateral com as clinoformas do talude. **B:** seção *cross-line* da superfície de topo do depósito, numa porção proximal central.



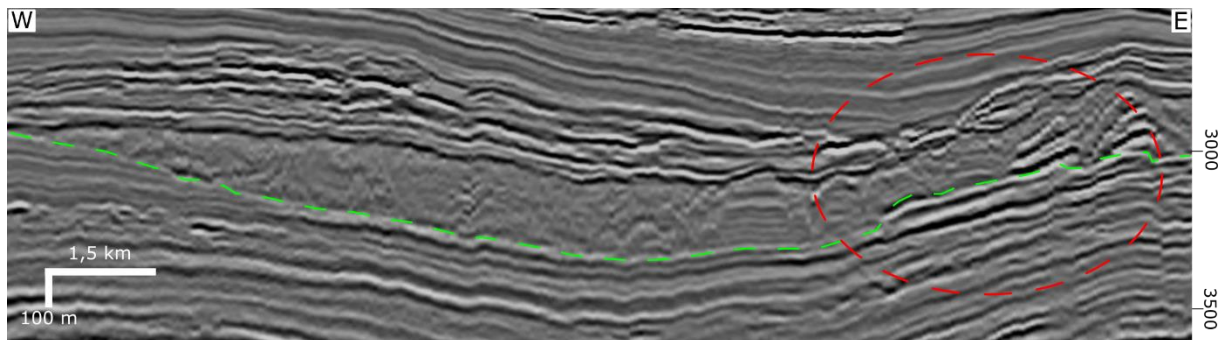
**Figura 32:** Imagem de uma linha sísmica arbitrária mostrando o depósito sendo arqueado na porção SE, adquirindo, assim, uma feição côncava para cima.

A irregularidade que esses refletores apresentam seria oriundo do movimento do material mobilizado pelo processo de transporte, denotando o caráter erosivo da superfície. Esse caráter erosivo é visto no sopé do talude na porção nordeste do depósito (Fig. 33), onde a irregularidade parece gerar uma depressão (rampa),

provavelmente pelo impacto do movimento de massa causado pela diferença da topografia da base do talude. Em seções *cross-line*, as porções laterais do depósito mostram feições erosivas, em que a superfície basal corta os refletores do substrato (Fig. 34), num processo que se assemelha a um escavamento por arraste do fluxo em forma de canal.

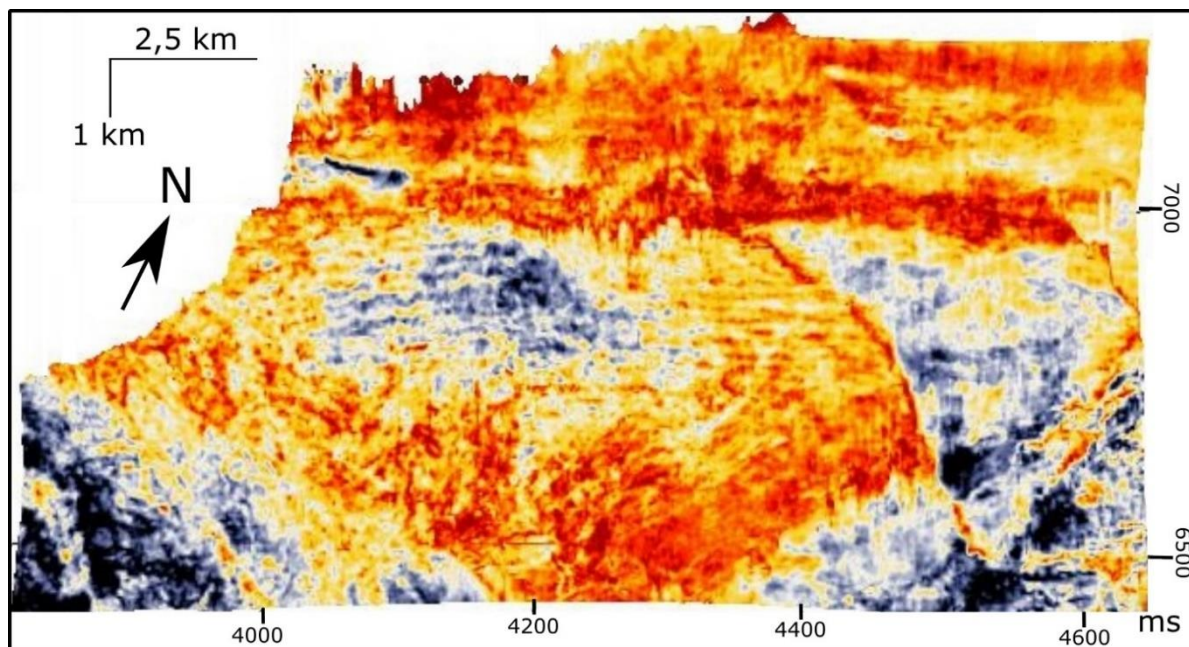


**Figura 33:** Imagem de seção *in-line* destacando uma feição erosiva na porção do sopé do talude, onde ocorre uma depressão do terreno, sendo chamada de "rampa" pelo formato que adquire.



**Figura 34:** Imagem de seção arbitrária perpendicular à direção de fluxo. A superfície de base (linha verde tracejada) mostra na porção leste um aspecto erosivo, cortando outros refletores. Atentar também para a deformação que se vê nos blocos em contato com a superfície basal na mesma parte.

O mapa de amplitude instantânea da superfície de base (Fig. 35) mostra contrastes negativos de impedância (em vermelho), possivelmente relacionados a corpos de menor densidade, geralmente arenosos, dispostos ao longo de quase toda a base do depósito, provavelmente associados aos corpos turbidíticos pré-escorregamento. Na parte oeste proximal, esta superfície é limitada por um truncamento subvertical interpretado como um grande bloco movimentado, como mostrado na figura 13, gerando uma espécie de escarpa para o DTM.



**Figura 35:** Mapa de amplitude instantânea da superfície de base do depósito. Em vermelho percebe-se os maiores valores de amplitude, relacionados a corpos de menor densidade, possivelmente arenosos. A região central, mais profunda do depósito, tem esses valores possivelmente devido a corpos turbidíticos arenosos que foram sobrepostos pelo depósito.

## 5. DISCUSSÕES

Analisando o volume sísmico percebe-se a predominância de clinofórmulas progradantes (Fig. 13) indicando um aumento do suprimento sedimentar às porções profundas da Bacia de Santos (Progradação Jureia; Moreira *et al.*, 2007; Berton e Vesely, 2016a,b;). No contexto geológico da região, no Cretáceo Superior ocorre um ciclo de trato de mar baixo, com esse aumento do aporte sedimentar principalmente nas regiões da cabeceira de taludes (Carlotto e Rodrigues, 2009). A sobrecarga sedimentar na margem da plataforma e talude superior é o principal gatilho para movimentos catastróficos de transporte em massa submarinos neste período, sendo possível observar vários depósitos de transporte em massa em posições estratigráficas superiores e inferiores ao intervalo estudado (Berton, 2016). A gênese desses depósitos está associada ao colapso do talude, sendo evidenciada por cicatrizes de escorregamentos (Fig. 13).

O depósito de transporte em massa caracterizado apresenta um padrão de refletores caótico, de baixa amplitude e com estruturas de deformação compressiva associadas (p. e., Alves, 2010; Berton, 2016; Berton e Vesely, 2016a; Martinez *et al.*,

2005; Posamentier e Kolla, 2003; Sun *et al.*, 2017a). Carlotto e Rodrigues (2009) caracterizam este mesmo depósito de transporte em massa, dividindo-o em domínios proximal, translacional e distal. O volume sísmico utilizado no trabalho não abrange o depósito todo, o que limitou maiores caracterizações e interpretações, ainda assim, em se tratando da porção proximal do depósito, algumas observações podem ser feitas a fim de complementar o estudo já realizado. Carlotto e Rodrigues (2009) colocam que nesta porção proximal há um predomínio de feições distensionais internas ao DTM. De fato, várias falhas podem ser interpretadas no corpo interno do depósito, entretanto, não necessariamente predominam sobre as estruturas compressoriais. Por se tratar de um corpo de sedimentos predominantemente lamosos, provenientes do talude, é coerente imaginar que a medida em que o fluxo se direciona talude abaixo a massa caótica tende a se comprimir ao entrar em atrito com o substrato, gerando dobramentos, não necessariamente causando falhas distensionais. Estruturas deformacionais, como espessamento local dos estratos (Alves, 2010) são reconhecidas em meio a matriz do depósito, inclusive em blocos “em jangada” dobrados (Fig. 19).

Carlotto e Rodrigues (2009) indicam que os blocos tendem a sofrer desintegração à medida que são transportados para longe do talude e tendem a ter seus eixos maiores paralelos à direção do movimento de fluxo. Isso pode ser verificado em seções *z-slices* de porções inferiores do depósito (Fig. 20), onde blocos de menores dimensões são reconhecidos na porção sudoeste do depósito, que seria a região mais distante do depósito. Percebe-se, também, pela orientação dos blocos através de seu eixo maior. Isso reforça a ideia de que realmente a direção do fluxo do movimento tenha sido de NE para SW, seguindo o eixo maior do depósito.

A irregularidade da superfície de topo do DTM, apresentando saliências que se assemelham a morros testemunhos na topografia subjacente, provém de blocos coerentes deformados pelo transporte ou por blocos remanescentes. Carlotto e Rodrigues (2009) atentam para essas estruturas uma vez que, por delinearem a topografia, servem como anteparos para pacotes de arenitos turbidíticos que ocorrem logo acima do DTM (Fig. 23 e 24).

A presença de feições turbidíticas no sopé do talude, sotopostas ao DTM remetem a ideia do papel realizado pelo depósito dentro de um possível sistema

petrolífero. Porém, a análise do depósito em geral como selo desses corpos arenosos, possíveis reservatórios, fica comprometida pela não continuidade do mesmo no volume sísmico estudado.

Estes corpos arenosos sotopostos ocorrem mais evidentemente em porções que se apresentam arqueadas (porção oeste do depósito). Uma possível acumulação nesses corpos tenderia a confinar-se na charneira desse arqueamento, estando, com isso, dentro dos limites do volume sísmico estudado. A característica composicional do depósito, predominantemente lamosa, é um importante ponto a considerar para tratar o depósito como potencial rocha selante (p. e., Sun *et al.*, 2017a). Entretanto, a natureza erosiva e descontínua da superfície basal, bem como o arranjo deformacional interno do depósito, pode implicar na sua ineficácia neste papel (p. e., Berton e Vesely, 2016a).

Alguns blocos internos ao depósito mostram refletores de alta amplitude, marcando possivelmente litotipos arenosos. Tratando-se de corpos de dimensões de centenas a poucos km, imersos numa matriz essencialmente lamosa, estes podem constituir reservatórios interessantes (p. e., Omosanya e Alves, 2013). Apesar de ocorrerem falhas associadas a eles, o que impediria possíveis acumulações, a matriz lamosa que os rodeia poderia atuar como selo (p. e., Carlotto e Rodrigues, 2009).

Sun *et al.* (2017a) indicam que a eficácia de DTMs como selantes superiores de reservatórios de petróleo passa pela qualidade das propriedades intrínsecas ao depósito, como densidade, teor de água e porosidade, as quais concedem ao depósito um aspecto mais consolidado. Ainda assim, se a matriz não for adequada para atuar como selo, é possível imaginar que a superfície de topo do depósito, marcada por um refletor de baixa amplitude, que no contexto de mar profundo, provavelmente se remete a sedimentos argilosos, poderia fazer esse papel.

Porém, é com ressalvas que se coloca essa superfície como um selo efetivo. As protuberâncias do topo, causadas pelos blocos coesos, geram descontinuidades desses possíveis estratos argilosos. Seriam, portanto, necessários estudos direcionados para melhor compreensão das relações de elementos do sistema petrolífero aplicados a depósitos de transporte em massa.

## 6. CONCLUSÕES

Observações de linhas sísmicas 3D, mapas de contorno estrutural e de amplitude das superfícies de base e topo do DTM permitiram a caracterização do depósito em termos de sua morfologia e estruturas internas:

- O depósito de transporte em massa é caracterizado por uma sismofácies caótica de baixa amplitude sísmica, apresentando refletores contorcidos e dobrados, com espessuras que variam de cerca de 45 a 350 metros e tem dimensões mínimas de 23 km em seu eixo maior de direção geral NE-SW.
- Próximo ao talude o depósito possui forma de cunha (em visão longitudinal); em visão transversal, percebe-se o aspecto levemente convexo, que remete a estrutura de deposição original, com a porção central mais espessa e o adelgaçamento para as laterais.
- Em regiões bacia adentro o depósito sofre um arqueamento, proveniente de processos pós-deposicionais, visto que o mesmo movimento ocorre em porções inferiores e superiores ao depósito.
- Feições de deformação podem ser observadas internamente ao corpo por dobramentos compressionais provenientes do contato do fluxo de escorregamento com o substrato, marcado também pelo espessamento localizado de estratos contorcidos, muitas vezes diagnósticos de blocos.
- Imersos à matriz caótica ocorrem blocos de duas naturezas: blocos “em jangada” transportados pelo movimento de massa, mostrando feições de deformações distensionais e compressionais e blocos remanescentes, não deformados, que atuam como anteparos ao fluxo e, por isso, tem importância no arranjo interno do depósito. Ambos os blocos, por serem mais coesos que a massa mobilizada, sobressaem-se sobre a superfície de topo e moldam a topografia subjacente, atuando, como morros testemunhos.
- Dados 3D recentes apresentam grande resolução e permitem interpretações aprofundadas de processos e características deposicionais em bacias profundas. A interpretação de análises de sismofácies e de geomorfologia sísmica mostra-se como uma ferramenta importantíssima para a análise em subsuperfície e possibilita a caracterização estratigráfica de potenciais sistemas petrolíferos.

## REFERÊNCIAS

- Alves T.M. 2010. 3D Seismic examples of differential compaction in mass-transport deposits and their effect on post-failure strata. *Marine Geology*, **271**:212-224.
- Alves T.M. 2015. Submarine slide blocks and associated soft-sediment deformation in deep-water basins: a review. *Marine and Petroleum Geology*, **67**:262–285.
- Alves T.M., Cartwright J.A. 2010. The effect of mass-transport deposits on the younger slope geomorphology, offshore Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, **27**:2027-2036.
- Alves T.M., Lourenço S.D.N. 2010. Geomorphologic features related to gravitational collapse: submarine landsliding to lateral spreading on a Late Miocene-Quaternary slope (SE Crete, eastern Mediterranean). *Geomorphology* **123**:13-33.
- Assine M.L., Corrêa F.S. & Chang H.K. 2008. Migração de depocentros na Bacia de Santos: importância na exploração de hidrocarbonetos. *Revista Brasileira de Geociências*, **38(2)**:111-127.
- Back S, Van Gent H., Reuning L., Grötsch J., Niederau J., Kukla P. 2011. 3D seismic geomorphology and sedimentology of the Chalk Group, southern Danish North Sea. *Journal of the Geological Society*, 168:393-405.
- Bahk J.J., Kang N.K., Yi B.Y., Lee S.H., Jeong S.W., Urgeles R., Yoo D.G. 2017. Sedimentary characteristics and processes of submarine mass-transport deposits in the Ulleung Basin and their relations to seismic and sediment physical properties. *Marine Geology*, **393**:124-140.
- Berton, F. 2016. *Evolução Estratigráfica Da Margem Continental Do Eoceno No Norte Da Bacia De Santos: Sismoestratigrafia, Fácies Sísmicas E Geomorfologia Sísmica Aplicadas À Determinação Dos Controles Sobre A Arquitetura Depositional*. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná, 137 p.

- Berton F. e Vesely F.F. 2016a. Seismic expression of depositional elements associated with a strongly progradational shelf margin: northern Santos Basin, southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Geology*, **46(4)**:585-603.
- Berton F. e Vesely F.F. 2016b. Stratigraphic evolution of Eocene clinofolds from northern Santos Basin, offshore Brazil: evaluating controlling factors on shelf-margin growth and deep water sedimentation. *Marine and Petroleum Geology*, **78**:356-372.
- Bull, S., Cartwright, J. & Huuse, M. 2009. A review of kinematic indicators from mass transport complexes using 3D seismic data. *Marine and Petroleum Geology*, **26**:1132-1151.
- Carlotto, M.A e Rodrigues L.F. 2009. O escorregamento Maricá – anatomia de um depósito de fluxo gravitacional de massa do Maastrichtiano, Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **18(1)**, 51-67.
- Catuneanu, O. 2006. *Principles of sequence stratigraphy*. Elsevier, Amsterdam, ND, 375pp.
- Chang H.K., Assine M.L., Corrêa F.S., Tinen J.S., Vidal A.C., Koike L. 2008. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos. *Revista Brasileira de Geociências*, **38(2)**:29-46.
- Contreras J.; Zühlke R.; Bowman S.; Bechstädt T. 2010. Seismic stratigraphy and subsidence analysis of the southern Brazilian margin (Campos, Santos and Pelotas basins). *Marine and Petroleum Geology*, **27**:1952-1980.
- Dalla Valle G., Gamberi F., Rocchini P., Minisini D., Errera A., Baglioni L., Trincardi F. 2013. 3D seismic geomorphology of mass transport complexes in a foredeep basin: examples from the Pleistocene of the central Adriatic Basin (Mediterranean Sea). *Sedimentary Geology*, **294**:127-141.
- Dixon J.F., Steel R.J., Olariu C., 2013. A model for cutting and healing of deltaic mouth bars at the shelf edge: mechanism for basin-margin accretion. *Journal for Sedimentary Research*, **83**:0-0.

- Galloway W. E. e Hobday D. K. 1996. *Terrigenous clastic depositional systems: applications to fossil fuel and groundwater resources*. 2.ed. Berlin: Springer-Verlag, 489 pp.
- Gamberi F., Rovere M., Marani M. 2011. Mass-transport complex evolution in a tectonically active margin (Gioia Basin, Southeastern Tyrrhenian Sea). *Marine Geology*, **279**:98-110.
- Gamboa D., Alves T. 2016. Bi-modal deformation styles in confined mass-transport deposits: examples from a salt minibasin in SE Brazil. *Marine and Petroleum Geology*, **379**:176–193.
- Gee M., Gawthorpe R.L., Friedmann S.J., 2006. Triggering and evolution of a giant submarine landslide, offshore Angola, revealed by 3D seismic stratigraphy and geomorphology. *Journal of Sedimentary Research*, **76**:9–19.
- Guan Z., Chen K.Y., He M., Zhu J.F., Zhou F.J., Yu S.M. 2016. Recurrent mass transport deposits and their triggering mechanisms in the Kaiping Sag, Pearl River Mouth Basin. *Marine and Petroleum Geology*, **73**:419-432.
- Macedo J.M. 1989. Evolução tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **3**:159-173
- Martinez J.F., Cartwright J., Hall B. 2005. 3D seismic interpretation of slump complexes: examples from the continental margin of Israel. *Basin Research*, **17**:83-108.
- Masson D.G., Harbitz C.B., Wynn R.B., Pedersen, G., Løvholt, 2006. Submarine slides: processes, triggers and hazard prediction. *Philos. Trans. R. Soc. A* 1845, 2009-2039.
- Mitchum R.M., Vail P.R., Sangree J.B. 1977. Seismic stratigraphy and global changes in sea level, part 6: stratigraphic interpretation of seismic reflection patterns in depositional sequences. In: Payton, C.E. (ed.). *Seismic stratigraphy: application to hydrocarbon exploration*. Tulsa, AAPG Memoir, **26**:117-133.
- Moreira J.L.P., Madeira C.V., Gil J.A., Machado M.A.P. 2007. Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, **15(2)**:531-549.

- Moscardelli L., Wood L.J., Mann P., 2006. Mass-transport complexes and associated processes in the offshore area of Trinidad and Venezuela. *Am. Assoc. Petroleum Geology. Bull*, **90(7)**:1059-1088.
- Nelson C.H., Escutia C., Damuth J.E., Twichell D.C., 2011. Interplay of mass-transport and turbidite-system deposits in different active tectonic and passive continental margin settings: external and local controlling factors. In: Shipp, R.C., Weimer P., Posamentier H.W. (Eds.), *Mass-transport Deposits in Deepwater Settings*. : SEPM-Special publication, 96. SEPM (Society for Sedimentary Geology), Tulsa, Oklahoma, p. 39–66.
- Omosanya K.O., Alves T.M. 2013. A 3-dimensional seismic method to assess the provenance of mass-transport deposits (MTDs) on salt-rich continental slopes (Espírito Santo Basin, SE Brazil). *Marine and Petroleum Geology*, **44**:223-239.
- Omosanya K.O., Alves T.M. 2014. Mass-transport deposits controlling fault propagation, reactivation and structural decoupling on continental margins (Espírito Santo Basin, SE Brazil). *Tectonophysics*, **628**:158-171.
- Posamentier H.W. e Kolla V. 2003. Seismic geomorphology and stratigraphy of depositional elements in deep-water settings. *Journal of Sedimentary Research*, **73(3)**:367-388.
- Posamentier H.W., Davies J.A., Cartwright J.A., Wood L.J. 2007. Seismic geomorphology – an overview. In: Seismic geomorphology: applications to hydrocarbon exploration and production. 2007. Ed. by J.A. Davies, H.W. Posamentier, L.J. Wood, J.A. Cartwright. *Geological Society Special Publications*, London, UK, p. 1-14.
- Shipp R. C., Nott J. A., e Newlin J. A. 2004. Physical characteristics and impact of mass transport complexes on deepwater jetted conductors and suction anchor piles: *Annual Offshore Technology Conference*, Houston, Texas, OTC Paper 16751, p. 11.
- Stow D. A. W., Reading H. G., Collinson J. D. Deep Seas. In: Reading, H. G. (Ed.). *Sedimentary Environments: processes, Facies and Stratigraphy*. Blackwell Science Ltd., Oxford, p. 395-453.

- Sun Q.L., Alves T., Xie, X., He J., Li W., Ni X.L., 2017a. Free gas accumulations in basal shear zones of mass-transport deposits (Pearl River Mouth Basin, South China Sea): An important geohazard on continental slope basins. *Marine and Petroleum Geology*, **81**:17-32.
- Sun, Q.L., Xie, X.N., Piper, D.J.W., Wu, J., Wu, S.G., 2017b. Three dimensional seismic anatomy of multi-stage mass transport deposits in the Pearl River Mouth Basin, northern South China Sea: their ages, kinematics and controlling factors. *Marine Geology*, **393**:93-108.
- Wang X.X., Wang Y.M., He M., Chen W.T., Zhuo H.T., Gao S.M., Wang M.G., Zhou J.W., 2017. Genesis and evolution of the mass transport deposits in the middle segment of the Pearl River canyon, South China Sea: Insights from 3D seismic data. *Marine and Petroleum Geology*, **88**:555-574.