

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA E GEOFÍSICA MARINHA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOFÍSICA

NATALIA REIS DE AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DA DORSAL DE
SÃO PAULO E SEU SIGNIFICADO EVOLUTIVO NA
BACIA DE SANTOS**

NITERÓI,

AGOSTO DE 2013

NATALIA REIS DE AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DA DORSAL DE
SÃO PAULO E SEU SIGNIFICADO EVOLUTIVO NA
BACIA DE SANTOS**

Monografia referente à disciplina Projeto Final II apresentada ao Curso de Graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Geofísica.

Orientador: Prof. Dr^a. ELIANE DA COSTA ALVES.

NITERÓI,
AGOSTO DE 2013

NATALIA REIS DE AMORIM

**CARACTERIZAÇÃO GEOFÍSICA DA DORSAL DE SÃO
PAULO E SEU SIGNIFICADO EVOLUTIVO NA BACIA DE
SANTOS**

Monografia referente à disciplina Projeto Final II
apresentada ao Curso de Graduação em Geofísica
da Universidade Federal Fluminense, como
requisito para obtenção do título de Bacharel em
Geofísica.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr^a. Eliane da Costa Alves / LAGEMAR (UFF)

Prof. Dr. Rogério de Araujo Santos / LAGEMAR (UFF)

Prof. Dr. Cleverson Guizan Silva / LAGEMAR (UFF)

NITEROI,
AGOSTO DE 2013

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, Levi e Lia, que ao longo de toda minha trajetória não mediram esforços para investir na minha educação para que eu me tornasse uma profissional mais qualificada para o mercado de trabalho. Palavras não são capazes de sintetizar a minha gratidão e o meu amor por vocês.

A minha família em geral, por sempre me apoiar e me motivar.

Ao meu namorado, Bruno Petrocelli, por todo amor e companheirismo durante estes anos de faculdade. Agradeço-o por toda a paciência nesta reta final, e por toda a solidariedade, pois embora estivesse passando pelas mesmas circunstâncias de conclusão de curso e elaboração da monografia, não hesitou em me ajudar quando solicitado.

A minha orientadora, Prof. Eliane Alves por ter aceitado o convite para me orientar, e por toda paciência e conselhos ao longo destes meses de preparação da monografia.

Aos professores da banca examinadora, Prof. Dr. Rogério Santos e Prof. Dr. Cleverson Guizan, pelas sugestões e considerações.

A empresa Schlumberger por fornecer licenças do software Petrel à Universidade Federal Fluminense, tornando possível a elaboração e conclusão deste projeto final.

Aos colegas, Fernanda Aparecida e Camilo Aristizabal, por cederem seu tempo me auxiliando na construção da monografia.

Aos grandes amigos que fiz durante a faculdade, por todo o companheirismo ao longo destes quatro anos e meio, tornando o dia-a-dia mais prazeroso e divertido. Nossos momentos jamais serão esquecidos!

RESUMO

A Dorsal de São Paulo é uma cadeia vulcânica de topografia expressiva, com direção aproximada E-W, localizada na porção sudeste da Margem Continental Brasileira. Em parte, encontra-se aflorante no assoalho oceânico, limitando a porção sudeste da bacia de Santos. O mapeamento e caracterização dessas estruturas limítrofes são de fundamental importância, uma vez que individualizam os processos tectono-sedimentares ocorridos em uma bacia. Para a investigação deste papel desenvolvido pela Dorsal de São Paulo, realizou-se, primeiramente, uma compilação bibliográfica da área de estudo fornecendo o embasamento teórico necessário para análise dos resultados obtidos. Dentre estes, destacam-se os mapas e perfis batimétricos, a interpretação das linhas de sísmica de reflexão multicanal 2D, correlação aos poços 356 e 515 do *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) e os mapas do topo do embasamento e de isóbata total (em tempo duplo). Em conjunto, foram interpretados mapas de anomalia ar-livre e anomalia bouguer previamente processados. A observação de todos os resultados permitiu inferir que a Dorsal de São Paulo consiste em uma estrutura de expressividade batimétrica, entre as longitudes 39,75°W e 43,15°W. A partir destes limites, só se torna possível seu mapeamento através de método sísmico de reflexão, identificando seu prolongamento tanto a leste quanto a oeste. A continuidade das porções aflorantes e soterradas da Dorsal de São Paulo segue um alinhamento coincidente ao segmento fóssil da Zona de Fratura do Rio Grande (ZFRG), o que corrobora a hipótese de que a cadeia vulcânica seja uma expressão tectono-magmática ao longo da descontinuidade crustal, com evidências de reativações tectônicas até, pelo menos, o Mioceno Médio. O magmatismo responsável pela formação da Dorsal construiu uma cadeia vulcânica de topografia irregular, funcionando de maneira diferente ao longo do tempo geológico como barreira sedimentar à Bacia de Santos. Pelo menos até o Aptiano, a extensão total da Dorsal de São Paulo foi barreira à deposição evaporítica nas bacias sedimentares localizadas ao seu norte, em conjunto com o Alto de Florianópolis. Contudo, a análise geofísica não permitiu qualquer inferência a respeito da relação tectônica entre essas duas feições.

Palavras-chave: Dorsal de São Paulo | Bacia de Santos | Interpretação Sísmica | Batimetria | Barreira Sedimentar.

ABSTRACT

The São Paulo Ridge is a volcanic chain with an expressive topography and an approximate direction E-W, located in the southeastern portion of Brazilian Continental Margin. It is outcropping on the ocean floor, limiting the southeastern of the Santos basin. The mapping and characterization of these limit structures are very important, since they individualize the tectonic and sedimentary processes that occur in a basin. To investigate the role developed by São Paulo Ridge, firstly it was performed a bibliographic compilation of the study area providing the necessary theoretical background for the results analysis. Among these, we highlighted the maps and bathymetric profiles, the interpretation of multichannel 2D seismic profiles, through the correlation with the wells 356 and 515 from the Deep Sea Drilling Project (DSDP) and the maps of the basement's top and of total isobath (two way travel time). Furthermore, it was interpreted free-air and bouguer anomaly maps previously processed. The observation of all the results allowed to infer that the São Paulo Ridge consists of an expressive bathymetric structure, between the longitudes 39,75°W to 43,15°W. From these limits, its mapping is only possible by seismic reflection method, identifying its prolongation both to east and west. The continuity of the outcropping and buried portions of the São Paulo Ridge follows an alignment coincident to the fossil segment of Rio Grande Fracture Zone (RGFZ), which supports the hypothesis that the volcanic chain is a tectonic and magmatic expression along the crustal discontinuity, with evidences of tectonic reactivation until, at least, the Middle Miocene. The magmatism responsible for the Ridge's formation built a volcanic chain with irregular topography, performing as a sedimentary barrier to Santos basin differently over geological time. At least until the Aptian, the full extent of São Paulo Ridge was responsible for promoting the evaporite deposition in sedimentary basins located to its north, with the assistance of Florianópolis High. However, the geophysical analysis did not allow any inference about the tectonic relationship between those two features.

Keywords: Sao Paulo Ridge | Santos Basin | Seismic Interpretation | Bathymetry | Sedimentary Barrier.

LISTA DE FIGURAS

- Fig.1 Mapa batimétrico da MCSB com localização de suas bacias sedimentares constituintes e os altos estruturais (destacados em vermelho) que as delimitam. Em amarelo dispõe-se a área de estudo. Fonte: Levemente modificado de Alves *et al.*, 2011 - dados topográficos e batimétricos de Smith e Sandwell, 1997. 4
- Fig.2 Mapa esquemático da Margem Sudeste-Sul Brasileira com as principais feições estruturais ilustradas no limite entre Bacia de Santos e Bacia de Pelotas. (Fonte: Silveira e Machado, 2004). 5
- Fig.3 Seção sísmica interpretada ilustrando a localização do Platô de São Paulo sobre crosta continental e a espessa sequência evaporítica restrita à bacia de Santos. Fonte: (Machado, 2010; modificado de: Mohriak e Szatimari, 2008) 8
- Fig.4 Mapa topo-batimétrico da região sudeste brasileira com o perfil batimétrico regional orientado na direção SW-NE (A-B) ao longo da ERG. Fonte: (Mohriak et al, 2011). 9
- Fig.5 Mapa contendo as principais feições da MCSB. Segundo Gamboa e Rabonowitz (1981) o Alto de São Paulo (Dorsal de São Paulo), a Plataforma de Florianópolis, a ocorrência de rochas alcalinas em Santa Catarina e os rios Paraguai e Uruguai possuem um alinhamento controlado pela ZFRG. Fonte: (Fontana, 1996). 11
- Fig.6 Esquema da evolução da Margem Continental Brasileira divergente. (a) início do estiramento litosférico com pequenos depósitos sedimentares. (b) primeiras intrusões basálticas. (c) evolução para um ambiente marinho restrito, com deposição da sequência transicional. (d) início do espalhamento oceânico pela intrusão de crosta oceânica. (e) evolução para fase drifte/margem passiva. Fonte: Mohriak, 2003. 15
- Fig.7 Mapa batimétrico regional a partir da Margem Sudeste Brasileira, destacando as principais estruturas topográficas que são encontradas na Bacia de Santos e em regiões adjacentes. Fonte: Zalán, 2005. 16
- Fig.8 Mapa do embasamento pré-cambriano da Bacia de Santos com identificação da Charneira de Santos e das Zonas de Transferência definidas por Macedo (1989) e Pereira & Macedo (1990). Fonte: Pereira & Feijó (1994). 18
- Fig.9 Carta Estratigráfica da Bacia de Santos. Fonte: Gamboa *et al.*, 2008. 19
- Fig.10 Mapa de Batimetria da MCSB e suas principais feições destacadas, incluindo a Dorsal de São Paulo. Fonte: Alves, 2002. 20
- Fig.11 Interpretação sísmica da linha do 59-LEPLAC realizada por Basseto *et.al* (2000), indicando a morfologia ao sul da Dorsal de São Paulo retrabalhada pelas correntes de fundo, e o papel desempenhado pela feição como barreira à circulação. Fonte: Levemente modificado de Basseto *et. al*, 2000. 21
- Fig.12 Reconstruções paleogeográficas do Barremiano ao Neo-aptiano, mostrando as principais fases tectonossedimentares no Atlântico Sul e o papel exercido pela Dorsal de São Paulo como barreira estrutural Fonte: Dias, 2005. 24
- Fig.13 Distribuição das nove linhas selecionadas do projeto LEPLAC e dos dois poços utilizados do DSDP. Tal distribuição foi escolhida para propor uma melhor investigação e mapeamento da estrutura em estudo. Fonte: Mapa batimétrico com dados retirados de Smith e Sandwell (1997). 26

Fig.14	Correlação do topo das unidades do poço 356 (DSDP) à linha sísmica L-511. Desenho da plataforma de petróleo meramente ilustrativa. Fonte: Petrel, dados do LEPLAC e do DSDP.	30
Fig.15	Correlação do topo das unidades do poço 515 (DSDP) à linha sísmica L-509. O refletor representado pela cor verde (Topo do Cretáceo) não fora mapeado através do DSDP, mas sim pela análise do mapeamento sísmico realizado por outros autores (Alves, (1999); Alves, (2002); Schanzembach, (2010); Pereira (2010) para as mesmas linhas. Desenho da plataforma de petróleo meramente ilustrativa. Fonte: Petrel, dados do LEPLAC e do DSDP.	31
Fig.16	Identificação sísmo-estratigráfica da terminação padrão dos refletores. Fonte: (Machado, 2010)	32
Fig.17	Mapa batimétrico com a disposição dos perfis topográficos sobre Dorsal de São Paulo.	33
Fig.18	Perfis batimétricos de A a E, transversais à Dorsal, com identificação de suas cristas e do rebaixamento do relevo, associado a passagem do Canal de São Paulo. Fonte: Google Earth.	34
Fig.19	Seção sísmica L-046 interpretada (Dip), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo.	35
Fig.20	Seção sísmica L-045 interpretada (Dip), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo. Os refletores mapeados anteriores ao Mioceno médio pinçam perante à feição de estudo.	36
Fig.21	Seção sísmica L-044 interpretada (Dip), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo, funcionando, ainda assim, como barreira a alguns refletores mapeados.	37
Fig.22	Seção sísmica L-511 interpretada (Dip), com identificação da porção aflorante da Dorsal de São Paulo.	38
Fig.23	Seção sísmica L-059 interpretada (Strike), com identificação da porção aflorada da Dorsal de São Paulo, funcionando como barreira à Bacia de Santos (NE) e à bacia oceânica da Argentina (SW).	39
Fig.24	Seção sísmica L-042 interpretada (Dip), ainda identificando porções aflorantes da Dorsal de São Paulo.	40
Fig.25	Seção sísmica L-041 interpretada (Dip), voltando a identificar expressões soterradas da Dorsal de São Paulo nas linhas mais a leste	41
Fig.26	Seção sísmica L-509 interpretada (Strike), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo, sendo recoberta por todos os refletores mapeados.	42
Fig.27	Seção sísmica L-039 interpretada (Dip), com expressão soterrada da Dorsal de São Paulo no extremo leste da área de estudo.	43
Fig.28	Mapa batimétrico com a localização da Dorsal de São Paulo e as principais feições fisiográficas limitadas por ela. Fonte: Alves <i>et al.</i> , 2011 (dados batimétricos de Smith e Sandwell, 1997).	44
Fig.29	Mapa de Isóbata total da área de estudo. As cores frias indicam menor espessura do pacote sedimentar, enquanto que as cores quentes apontam maior espessura. Na parte central do mapa são destacados dois baixos, associados às porções aflorantes da Dorsal de São Paulo com ausência de deposição sedimentar.	46
Fig.30	Mapa do topo do Embasamento com o alinhamento das expressões da Dorsal de São Paulo hachurada.	47

- Evidências de reativação tectôno-magmática existentes, pelo menos, até o Mioceno Médio,
Fig.31 ao longo das porções soterradas da Dorsal de São Paulo. Os refletores mapeados 49
encontram-se em conformidade com o topo da feição. A) Perfil L-041. B) Perfil L-0509.
- Evidências de reativação tectôno-magmática associada ao soerguimento da Dorsal de São
Fig.32 Paulo. A terminação dos refletores mapeados encontra-se em forma de pinch-out em 49
direção ao topo da feição. A) Perfil L-045 B) Perfil L-042.
- Mapa de Anomalia Ar-Livre com identificação da anomalia positiva que representa a 50
Fig.33 Dorsal de São Paulo pela linha preta. Fonte: Levemente modificado de Alves *et al.* 2011.
- Mapa de Anomalia Bouguer com mapeamento dos limites crustais feitos por Alves *et al.*
Fig.34 (2011). A Dorsal de São Paulo, encontrada no limite crosta-transicional/crosta-oceânica, é 51
identificada pela linha preta. Fonte: Levemente modificado de Alves *et al.* 2011.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. ÁREA DE ESTUDO	4
4. CONTEXTO MORFOLÓGICO	5
4.1 ALTO DE FLORIANÓPOLIS	6
4.2 PLATÔ DE SÃO PAULO	7
4.3 ELEVAÇÃO DO RIO GRANDE	8
4.4 ZONA DE FRATURA DO RIO GRANDE	10
4.5 BACIAS OCEÂNICAS	11
5. EVOLUÇÃO DO ATLÂNTICO SUL	13
6. BACIA DE SANTOS	16
7. ESTUDOS PRÉVIOS SOBRE DORSAL DE SÃO PAULO	20
7.1 ASPECTOS MORFOLÓGICOS	20
7.2 COMPOSIÇÃO	22
7.3 COMPORTAMENTO SÍSMICO	22
7.4 ORIGEM	22
7.5 CONFIGURAÇÃO BARREIRA	23

8. BASE DE DADOS E METODOLOGIA	25
8.1 DADOS SÍSMICOS	25
8.2 DADOS DE POÇO	26
8.3 PERFIS BATIMÉTRICOS	28
8.4 ASSOCIAÇÕES DE DADOS	28
8.5 SISMOESTRATIGRAFIA	32
9. RESULTADOS	33
10. DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	44
11. CONCLUSÃO	52
12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
13. ANEXOS	59

1. INTRODUÇÃO

A atual dependência mundial de combustíveis fósseis - que representam 87% do abastecimento da energia primária mundialmente consumida - fomenta o investimento de empresas multinacionais na exploração das bacias sedimentares. Com elevado dispêndio de recursos, tais companhias buscam informações a respeito da geologia e geofísica de subsuperfície, que, em conjunto, indiquem a existência da acumulação de hidrocarbonetos.

Com intuito de minimizar os riscos exploratórios atrelados a possível falta de retorno financeiro, o entendimento prévio da origem e evolução das bacias sedimentares brasileiras torna-se cada vez mais requisitado por esse setor, em busca de esclarecimento e familiarização com a gênese e dinâmica de seus sistemas petrolíferos.

Neste sentido, a porção sudeste da Margem Continental Brasileira (MCSB) tem se destacado com as descobertas promissoras do pré-sal, que em decorrência do avanço tecnológico, possibilitou investigações sob lâminas d'água cada vez maiores, identificando *plays* em águas ultra profundas não antes possíveis de alcançar. Dentro deste contexto, Gomes *et al.* (2002) destacam essas regiões de águas ultra profundas especificamente na Bacia de Santos, como área potencial à exploração de hidrocarbonetos. Em função disso, a compreensão da evolução tectônica e sedimentar da bacia, influenciada pelos altos estruturais que a compartimentam, é de extrema importância na acurácia de encontro de rochas reservatório.

Em função de ainda não se encontrar um expressivo acervo bibliográfico sobre a Dorsal de São Paulo dedicado a sua caracterização, busca-se neste projeto final o estudo sobre esta feição, abordando seu papel no desenvolvimento tectono-sedimentar das bacias adjacentes. Propõe-se aqui, caracterizá-la geológica e geofisicamente através de: revisão bibliográfica que envolva tanto a evolução da bacia quanto as feições estruturais representativas da MCSB; correlação dos dados de poço adquiridos pelo *Deep Sea Drilling Project (DSDP)* aos dados geofísicos de sísmica de reflexão multicanal 2D, procedentes dos levantamentos do Projeto LEPLAC – Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira, coletados em parceria entre a Marinha do Brasil e a PETROBRAS; assim como a correlação com dados de batimetria e gravimetria existentes na região de estudo.

Dentre as bibliográficas pesquisadas, destacam-se Kumar *et al.* (1977), Perch-Nielsen *et al.* (1977), Barker *et al.* (1983), Alves (2002) e Machado (2010), pois, ao utilizarem e interpretarem dados de regiões adjacentes, fizeram importantes considerações a respeito da Dorsal de São Paulo e forneceram o embasamento teórico necessário para compreender, confirmar e confrontar a análise dos resultados obtidos a estudos anteriores associados à feição.

2. OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo principal a caracterização geofísica e o mapeamento da Dorsal de São Paulo, para compreensão de seu papel na compartimentação tectônica da bacia de Santos, e conseqüentemente, na evolução sedimentar da mesma, uma vez que lhe conferiu circunstâncias deposicionais individualizadas. Como objetivo mais específico, foca-se a região sul e distal da Bacia de Santos, para entender o significado que essa estrutura representa na evolução tectono-estratigráfica da Margem Continental Brasileira. Para tal, inicialmente, algumas metas devem ser definidas, elencando os pormenores necessários para o alcance do objetivo maior:

(a) Elaboração de perfis batimétricos que contribuam para identificação do registro morfológico da feição no assoalho oceânico.

(b) Correlação das unidades litoestratigráficas dos furos 356 e 515, previamente mapeadas pelo *DSDP*, aos perfis sísmicos reunidos.

(c) Interpretação das sequências sísmicas (identificação das unidades) a partir da análise das linhas sísmicas de reflexão 2D, com caracterização dos padrões sismoestratigráficos dos refletores perante à Dorsal de São Paulo.

(d) Confecção de mapas do topo do embasamento e de isóbata total (tempo duplo), auxiliando no mapeando e na compreensão evolutiva da Dorsal de São Paulo nas porções aflorantes e soterradas.

3. ÁREA DE ESTUDO

A região de estudo se concentra na Margem Sudeste Brasileira e áreas oceânicas adjacentes, no limite entre as Bacias de Santos e Pelotas. Mais especificamente, focam-se as porções mais distais das bacias, onde se localiza a feição Dorsal de São Paulo. O local contempla um retângulo que pode ser visualizado na figura 1.

A área em questão abrange as porções aflorantes da Dorsal de São Paulo - previamente mapeadas por Kumar *et al.*(1979), Basseto *et al.* (2000) e Alves (1981 e 2002) – e extensões laterais onde são investigados seus prolongamentos.

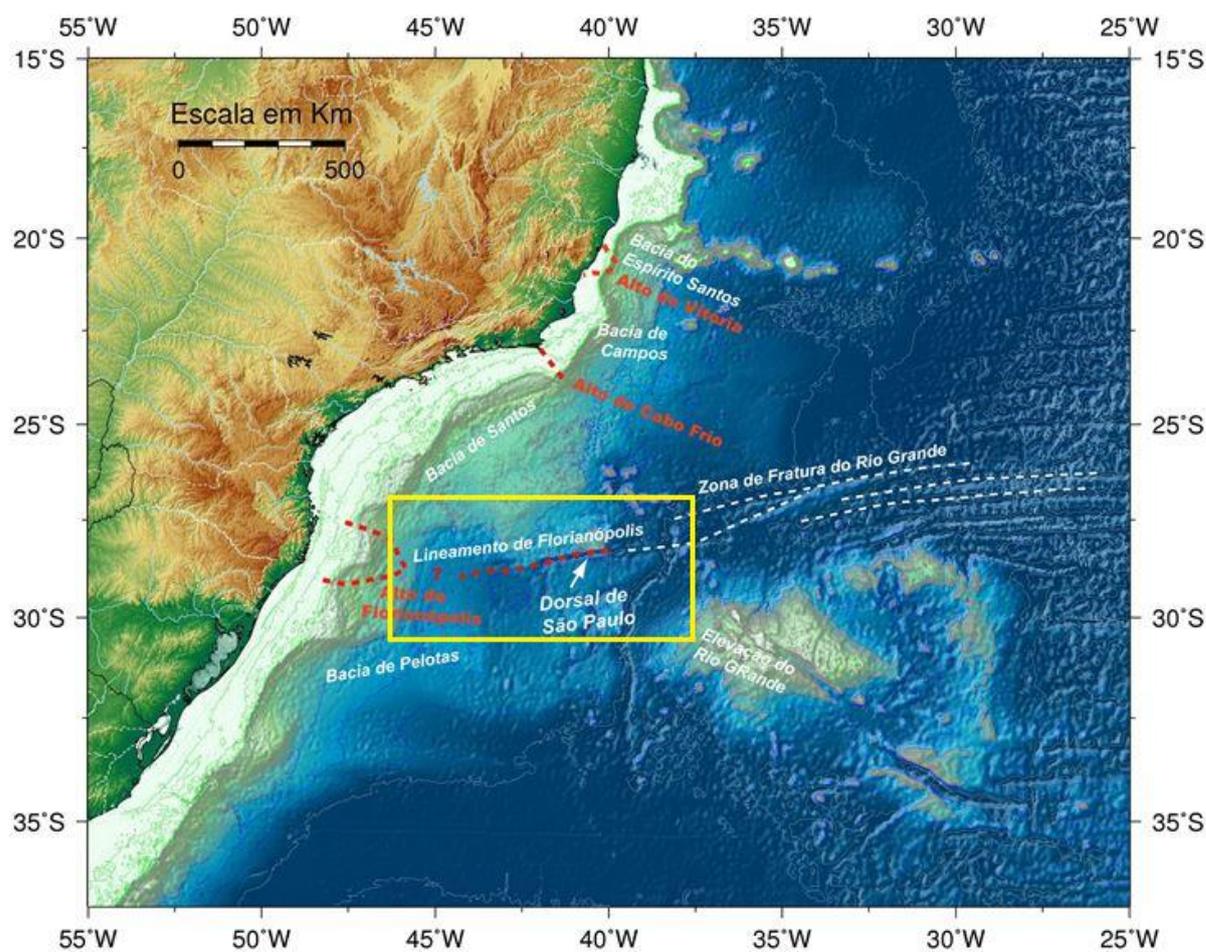


Figura 1: Mapa batimétrico da MCSB com localização de suas bacias sedimentares constituintes e os altos estruturais (destacados em vermelho). Em amarelo dispõe-se a área de estudo. Fonte: Levemente modificado de Alves *et al.*, 2011 - dados topográficos e batimétricos de Smith e Sandwell, 1997.

4. CONTEXTO MORFOLÓGICO

A porção sudeste da Margem Continental Brasileira (MCSB) é a mais ampla dentre seus setores, com uma área de, aproximadamente, 1.155.000 km². Suas províncias clássicas constituintes - plataforma, talude e sopé continental - refletem uma evolução tectônica de margem passiva, associada à formação de bacias sedimentares do tipo rifte com espessos pacotes sedimentares, alcançando até 13 km de espessura (Chang *et al.*, 1992). Dentre as bacias existentes na área, destacam-se a Bacia de Santos e a Bacia de Pelotas, possivelmente limitadas pela feição objetivo deste estudo – Dorsal de São Paulo.

Com períodos de intensa atividade tectono-magmática, tornou-se possível a construção de subprovíncias fisiográficas de relativa expressão regional MCSB (Machado, 2010), como pode ser visualizado na figura 2. Neste contexto, são ressaltados o Platô de São Paulo, o Alto de Florianópolis e a Elevação do Rio Grande (ERG), em função da proximidade e possíveis relações tectônicas que apresentam com a Dorsal.

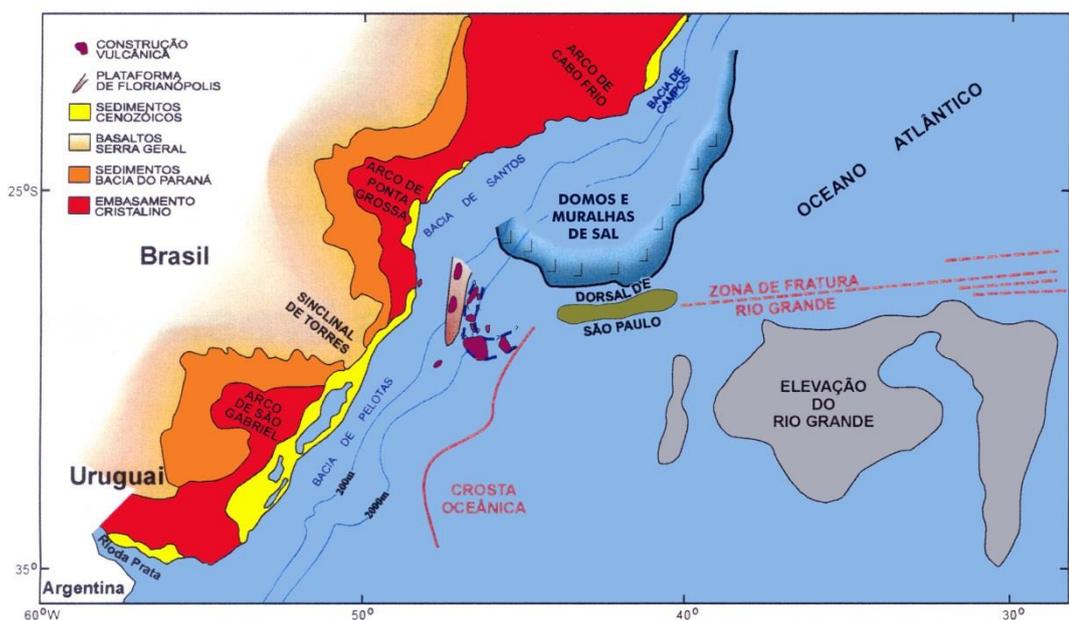


Figura 2: Mapa esquemático da Margem Sudeste-Sul Brasileira com as principais feições estruturais ilustradas no limite entre Bacia de Santos e Bacia de Pelotas. (Fonte: Silveira e Machado, 2004).

Já em domínios oceânicos, dentre as estruturas fisiográficas existentes, destaca-se a Zona de Fratura do Rio Grande (ZFRG), algumas vezes citada na literatura como Zona de

Fratuira de Florianópolis, responsável por separar a Bacia de Santos e Bacia de Pelotas. Uma vez que Alves (1981) e Gamboa & Rabonowitz (1981) sugerem que tanto o Alto de Florianópolis quanto a Dorsal de São Paulo são continuidade à oeste do lineamento do ZFRG, propõe-se neste tópico, também, uma revisão sobre esta estrutura.

4.1) Alto de Florianópolis

O Alto de Florianópolis é a porção mais proximal de um arco do embasamento, com direção aproximada WNW-ESE, prolongando-se rumo a Plataforma de Florianópolis (Gonçalves *et al.*, 1979; Asmus e Guazeli, 1979; *apud* Machado, 2010; Silveira e Machado, 2004; Machado, 2010). Esta união, Alto-Plataforma de Florianópolis, consiste em um amplo anticlinal do embasamento raso com cerca de 250 km de largura. No mesmo paralelo em que se localiza (28° S), disposta mais a leste, encontra-se a Dorsal de São Paulo. Em conjunto, essas feições formam um lineamento de construções vulcânicas com direção E-W denominado Lineamento de Florianópolis (Gamboa, 1977; Kumar *et al.* 1977; Asmus 1978), responsável por delimitar estruturalmente as Bacias de Santos e Pelotas (Gonçalves *et al.*, 1979; Azevedo, 2004; Machado, 2010).

Embora seja menos evidente em mapas de anomalias gravimétricas a continuidade lateral do sistema Alto-Plataforma de Florianópolis-Dorsal de São Paulo, na porção continental emersa são notadas atividades vulcânicas eo-cretácicas, indicando a presença de importantes anomalias térmicas, como, por exemplo, os derrames basálticos da Serra Geral (130-110 Ma na parte emersa e 90-50 Ma na porção imersa; Asmus e Guazelli, 1979; *apud* Machado, 2010), e os enxames de diques de diabásio do Arco de Ponta Grossa (129 Ma; Kumar *et al.* 1977).

Além disso, ainda no continente emerso e ao longo da mesma faixa latitudinal do Lineamento de Florianópolis, constata-se um contexto estrutural marcado por áreas soerguidas e subsidentes do embasamento cristalino pré-cambriano (Asmus e Guazelli, 1979; *apud* Machado, 2010). Tal arcabouço estrutural teria representado condições suficientes para acumulação de esforços durante o rifteamento continental neocomiano, que teria se propagado sob forma de lineamento estrutural e Zona de Fratura Rio Grande por longas distâncias além da margem continental (Machado, 2010).

A respeito da influência na sedimentação exercida isoladamente pelo Alto de Florianópolis, Machado (2010) afirma, através de mapas estruturais e de isópacas, que o alto do embasamento desempenhou a função de barreira sedimentar às bacias de Santos e Pelotas até o Albiano Inferior/Médio. A partir de então, é notada a entrada de uma delgada sedimentação, até ao Paleoceno Inferior, quando se observa um espessamento do pacote sedimentar, com a ausência do Alto de Florianópolis como estrutura limitante.

4.2) Platô de São Paulo

O Platô de São Paulo é um proeminente platô marginal localizado na porção sudeste da MCB, entre as latitudes 23° e 28°S (Kumar *et al.* 1977), estando contido até as regiões mais profundas das bacias de Campos e Santos. Estende-se por cerca de 1000 km desde o sul da cadeia Vitória-Trindade até a Dorsal de São Paulo, com largura que aumenta no mesmo sentido, de 125 até 550 km (Nunes, 2004). Já seu limite externo é marcado por uma escarpa relativamente íngreme, que corresponde ao limite leste da presença do sal Aptiano (Leyden *et al.*, 1976; *apud* Alves, 1999).

Com uma morfologia bastante acidentada, o Platô de São Paulo exhibe uma topografia irregular em função de processos halocinéticos relacionados aos evaporitos do Aptiano e, também, pela presença de afloramentos de rochas do embasamento (Kumar *et al.*, 1979) (figura 3). A espessa sequência evaporítica limita a resposta do método geofísico acústico, não permitindo a fácil visualização entre contatos crosta continental, transicional e oceânica com as técnicas de aquisição e processamento convencionais (Alves, 1999)

Estudos mais antigos realizados por Kumar *et al.* (1977) sugeriam que o Platô era localizado sobre crosta oceânica. Entretanto, a hipótese de que ele seja sobreposto a crosta continental estirada vem sendo reforçada nas últimas três décadas. Mais recentemente, Karner (2000) e Meisling *et al.* (2001) contribuíram com pesquisas relacionadas a este tema. O primeiro indica que o Platô de São Paulo esteja localizado sobre um limite continental-oceânico, baseado nas terminações das zonas de fratura. Enquanto que o segundo desenvolve conceitos previamente apresentados por Demercian (1996), indicando a presença de uma cadeia vulcânica, denominada Avedis, com direção NE-SW, na porção distal do Platô, associada a um centro de espalhamento abortado implantado sobre crosta continental estirada.

A respeito de sua estratigrafia, as histórias geológicas da bacia de Santos e do próprio Platô de São Paulo levaram Kumar e Gamboa (1979) a concluir que essas duas regiões são estruturalmente contínuas e que a área ocupada pelo platô foi um depocentro que evoluiu para um platô marginal desde o término da deposição evaporítica no Atlântico sul.

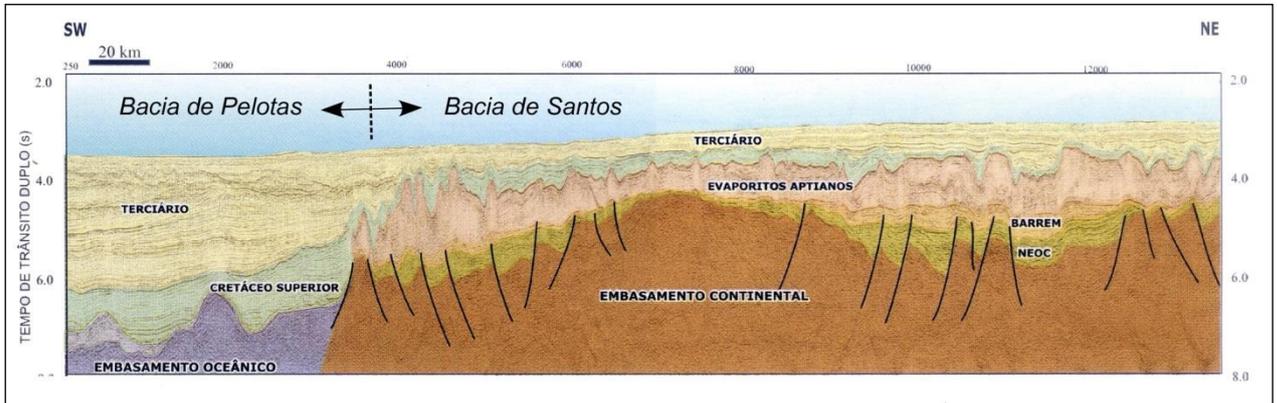


Figura 3: Seção sísmica interpretada ilustrando a localização do Platô de São Paulo sobre crosta continental e a espessa sequência evaporítica restrita à bacia de Santos. Fonte: (Machado, 2010; modificado de: Mohriak e Szatimari, 2008)

4.3) Elevação do Rio Grande (ERG)

A Elevação do Rio Grande corresponde à maior feição batimétrica positiva localizada no Atlântico Sul, mais especificamente entre as bacias oceânicas da Argentina e do Brasil. Seu topo chega a alcançar lâminas d'água inferiores a 1000 m, onde a profundidade média do assoalho oceânico adjacente é aproximadamente 4000 m (Mohriak *et. al*, 2011). Desta forma, em comparação com o relevo circundante, a Elevação modifica de forma considerável o acamamento planar do domínio abissal oceânico (Alves, 1981), conforme verificado na figura 4.

Segundo Alves (1981), no aspecto estrutural, a ERG consiste em uma província vulcânica limitada a norte e a sul por duas descontinuidades crustais de direção E-W, denominadas, respectivamente, por ZFRG e Zona de Fratura do Chuí. É dividida em três segmentos, com sua porção central e leste se elevando a mais de 3500 m do fundo submarino, ao passo que sua porção oeste é a de menor expressão topográfica. Em escalas mais restritas (dezenas de km), ela apresenta um padrão batimétrico bastante complexo, dominado por uma alta concentração de montes submarinos, vales encaixados e escarpas esculpidas (Alves, 1981).

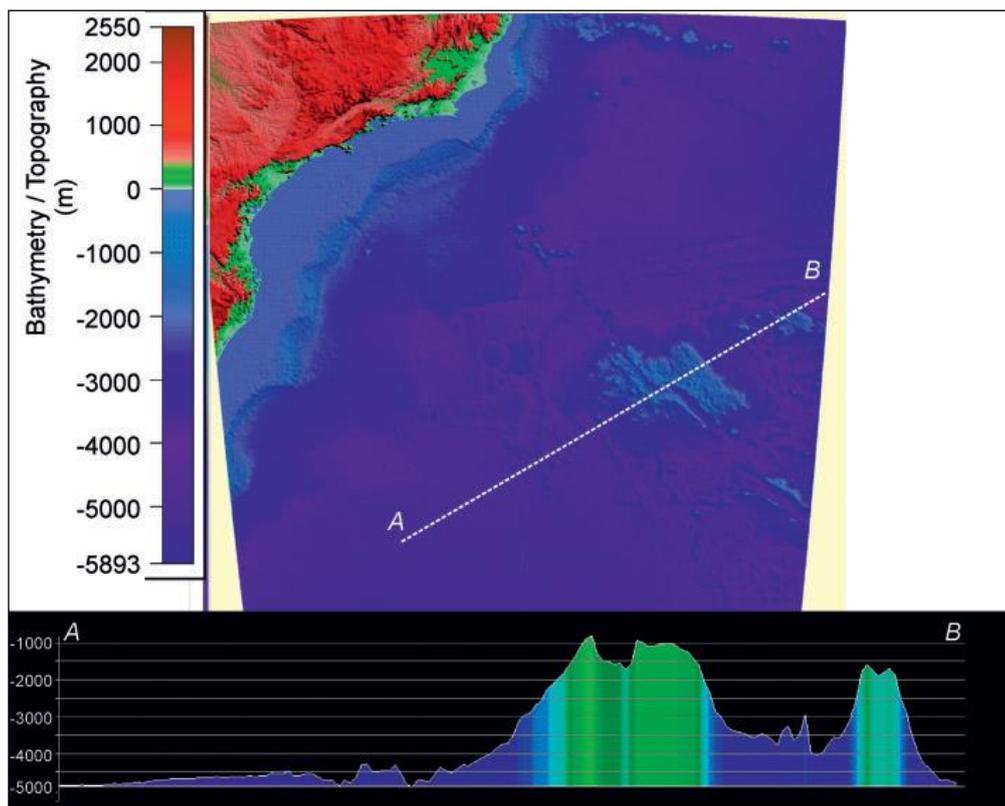


Figura 4: Mapa topo-batimétrico da região sudeste brasileira com o perfil batimétrico regional orientado na direção SW-NE (A-B) ao longo da ERG. Fonte: (Mohriak et al, 2011).

Interpretações sísmicas realizadas por Mohriak *et al.* (2011) na região sugerem a existências de estruturas extensionais na crosta oceânica, formando hemi-grabéns tanto no cume quanto nos flancos da Elevação, provavelmente associados a uma maior propagação do rifte na direção NW durante o Paleógeno e Neógeno. Também durante o Paleógeno, ocorreram intrusões ígneas e cones vulcânicos tanto em crosta oceânica quanto em crosta continental, comprovando a existência de pulsos tectônicos e de atividade magmática em escala regional (Souza *et al.* 1993 apud Mohriak *et al.* 2011).

Ainda a partir de interpretações sísmicas, Mohriak *et al.* (2011) destacam uma espessa sedimentação Eôcenica-Oligocênica no ápice e nos flancos da feição. Ademais, camadas vulcânicas são identificadas no Eoceno (Fodor & Thiede, 1977), enquanto que o embasamento vulcânico propriamente dito está associado aos refletores mergulhantes atrelados aos derrames basálticos formados a partir do centro de espalhamento oceânico. Eles são observados anormalmente rasos e provavelmente constituíram uma ilha subaérea durante o Santoniano (Barker *et al.* 1981, apud Mohriak *et al.* 2011).

Segundo Mohriak *et al.* (2011) teorias alternativas a respeito da origem da ERG incluem: espessamento de crosta oceânica devido ao magmatismo excessivo na região; alterações composicionais de rochas do manto superior; edifícios vulcânicos com raízes crustais profundas no manto; tectônica extensional com cisalhamento dextral associado a falhas transformantes; e por fim, uma hipótese mais remota que considera o abandono de fragmento de crosta continental das zonas de rifteamento.

4.4) Zona de Fratura do Rio Grande (ZFRG)

As zonas de fratura são depressões estreitas e profundas que cortam ortogonalmente os flancos de uma dorsal mesoceânica e se propagam em direção às margens continentais opostas. São fundamentais no esclarecimento da dinâmica de abertura dos oceanos, envolvendo a configuração estrutural de bacias marginais e oceânicas (Francheteau e Le Pichon, 1972, Cande *et al.*, 1988; *apud* Alves (1999)). Em termos morfológicos, são definidas por extensas e estreitas faixas de cadeias e depressões, recobertas ou não por sedimentos (Alves, 1999).

O Sistema de Zonas de Fratura do Rio Grande consiste em um sistema triplo de descontinuidades transformantes, sendo identificado como um dos lineamentos oceânicos mais importantes do Atlântico Sul. Dentre o SZFRG, apenas uma de suas Zonas de Fratura prolonga-se para as regiões mais rasas – ZFRG- limitando as bacias sedimentares de Santos e Pelotas (Alves, 2002).

Inicialmente, a ZFRG foi sugerida por Kumar *et al.* (1977) com base no alinhamento E-W da Dorsal de São Paulo, seu limite norte. Gamboa e Rabinowitz (1981) a caracterizaram pela morfologia rugosa do embasamento entre as latitudes 26° e 27° S, podendo ser mapeada continuamente de 21° a 32° W. Neste mesmo trabalho, os autores sugerem que além da Dorsal de São Paulo, o Alto de Florianópolis e alguns lineamentos *onshore* são contidos nesse mesmo alinhamento tectônico (Figura 5). Na região a norte e a nordeste da ERG, a zona de crosta fraturada pode ser definida e mapeada pelas estruturas do embasamento observadas nos perfis sísmicos, como cristas e calhas, onde as diferenças no relevo são da ordem de 1500 m, além de uma larga região tectonizada com mais de 100 km (Gamboa e Rabinowitz, 1981). A existência de tais escarpamentos permite a identificação dos principais altos do embasamento

e calhas intervenientes definindo estruturas lineares contínuas numa área de topografia acidentada (Kumar *et al.* 1981).

A respeito do tectonismo da ZFRG, Alves (2002) sugere que evidências geológicas relacionadas à Zona de Transferência de Florianópolis e a mudança de orientação do Rio Paraná e Uruguai teriam a sua origem vinculada à reativação magmática do SZFRG (na porção oceânica) e da zona de deformação (no bordo Continental adjacente), que podem ter servido como um conduto para o magmatismo do *Hotspot* de Tristão da Cunha em função da Passagem da Placa Sul-Americana.

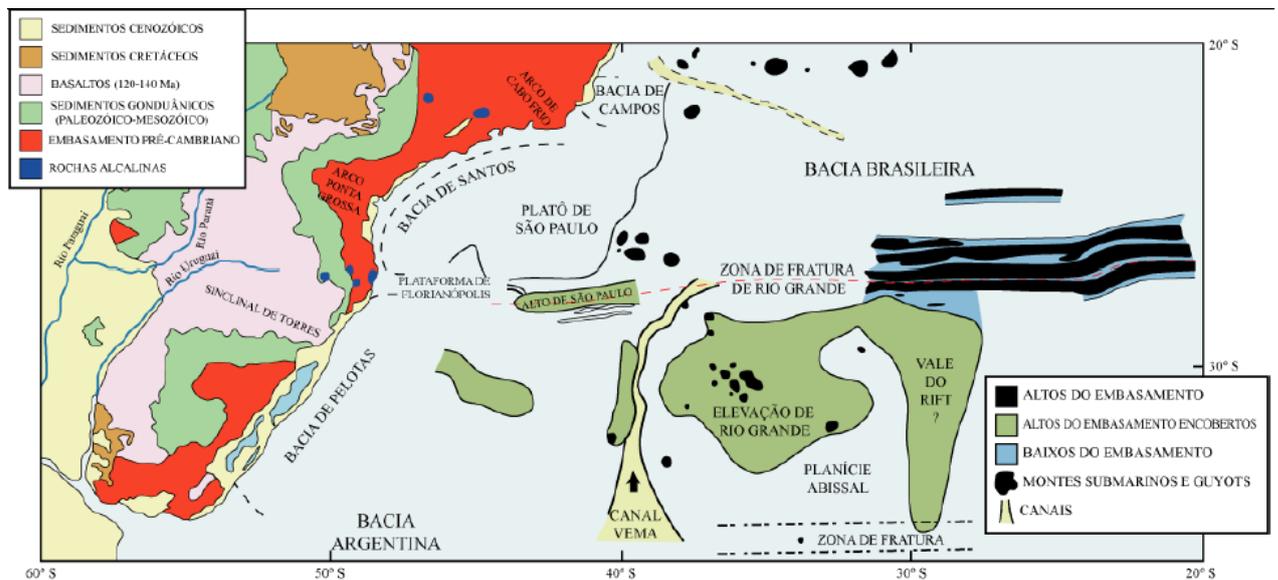


Figura 5: Mapa contendo as principais feições da MCSB. Segundo Gamboa e Rabonowitz (1981) o Alto de São Paulo (Dorsal de São Paulo), a Plataforma de Florianópolis, a ocorrência de rochas alcalinas em Santa Catarina e os rios Paraguai e Uruguai possuem um alinhamento controlado pela ZFRG. Fonte: (Fontana, 1996).

4.5) Bacia Oceânica

Segundo Alves (1981), adjacentes à MCSB dispõem-se duas bacias oceânicas: a do Brasil, no segmento setentrional, representada por um piso de colinas abissais e por uma área de elevações oceânicas (ERG e Dorsal de São Paulo); a Bacia da Argentina, na porção meridional, também formada por uma pequena região de colinas abissais e pelo extremo norte da planície abissal de mesmo nome. Comunicando as duas bacias, interpõem-se por entre as elevações submarinas duas passagens abissais: a do São Paulo (mais restrita) e a do Rio Grande, onde se encontra o Canal Vema.

As planícies abissais são áreas de relevo planar, nivelado por depósitos distais de correntes de turbidez e por sedimentos transportados por correntes de fundo. Segundo Le Pichon *et al.* (1971), o Canal Vema é uma feição erosiva estreita formada pela atividade da Corrente de Fundo da Antártica (AABW) que flui em alta velocidade, a 4200m de profundidade, transversalmente ao prolongamento da ZFRG. Ele é o principal transportador de sedimentos em suspensão oriundos das camadas nefelóides detectadas na bacia da Argentina e localmente da própria erosão dos sedimentos marginais. Ao chegar à bacia do Brasil, a AABW pode bifurcar-se sendo um ramo do fluxo para norte ao longo da margem oeste da bacia e o outro para leste ao longo da relativamente profunda ZFRG (Johnson e Rasmussen, 1984; *apud* Alves, 1999).

O relevo da bacia oceânica, modelado por processos sedimentares, é interrompido em algumas áreas por altos topográficos de origem ígnea. Derrames basálticos sobre extensas áreas geraram elevações vulcânicas oceânicas, enquanto colinas e montes submarinos, isolados, em agrupamentos, ou formando cadeias, são expressões fisiográficas de vulcanismo local, ocorrendo em todas as províncias da região oceânica (Alves, 1999).

5. EVOLUÇÃO TECTONO-SEDIMENTAR DO ATLÂNTICO SUL

Para melhor compreensão do contexto tectono-sedimentar envolvendo a Dorsal de São Paulo, a respeito de sua gênese e posterior evolução, torna-se necessária uma revisão sobre o desenvolvimento do Atlântico Sul, retomando estágios precedentes à separação do supercontinente Gondwana até a formação do Oceano Atlântico.

As bacias marginais brasileiras são produtos do estiramento litosférico gradativo, que se iniciou ao sul e se propagou a norte, culminando com a separação efetiva do supercontinente Gondwana, iniciada no Jurássico Superior e prorrogada até Cretáceo Inferior (Ponte & Asmus 1976; Ojeda, 1980). Este estiramento foi marcado por pulsos tectônicos de natureza distensiva que afetaram toda a costa do Atlântico, criando diferentes tipos de margens ao longo das porções sul-sudeste, central e norte.

No caso específico da atual margem continental sudeste brasileira, o rifteamento atuou entre o período de 150-130 Ma (Masclé *et al.*, 1988 apud Mohriak, 2003). Mohriak (2003) propõe um modelo evolutivo para a região dividindo-o em cinco fases principais com diferentes características tectono-sedimentares. Tais etapas encontram-se simplificadamente ilustradas na figura 6. Como resultado, esses sub-eventos da evolução do Atlântico Sul levaram à separação da massa continental, formando os continentes sul-americano e africano.

A primeira fase é caracterizada pelo início dos fenômenos distensivos da litosfera. O modelo conceitual admite, primeiramente, um pequeno soerguimento astenosférico, com conseqüente afinamento litosférico regionalmente distribuído, levando a geração de falhas na crosta superior atreladas a depocentros com uma sedimentação rift pouco espessa.

Na fase posterior, o estiramento litosférico acentua-se e, simultaneamente, há a extrusão de lavas basálticas. A maior incidência de falhas mais expressivas leva a formação de semi-grabéns preenchidos por sedimentos continentais de origem lacustre. A partir da terceira etapa o rifteamento cessa, embora ainda haja extensão litosférica. A continuidade de tal fenômeno, atrelada a uma maior incidência de grandes falhas, favorece a rotação de blocos da fase rifte, sendo estes cobertos por camadas sedimentares menos rotacionados.

Ao final do evento de rifteamento, já incluído na sub-etapa quatro, o centro de espalhamento meso-Atlântico inicia a intrusão de crosta oceânica. Conforme citado por

Mohriak (2003), em algumas bacias essas primeiras manifestações estão atreladas ao vulcanismo subaéreo, responsável pela origem de grandes volumes de rocha com refletores mergulhantes em direção ao mar (*Seaward Dipping Reflectors* - SDR). Concomitante a este fenômeno, ocorrem episódios de magmatismo continental e oceânico, reativação de falhas e erosão do pacote rifte por uma discordância regional que arrasa a topografia anterior, separando ambientes de deposição tipicamente continental (lacustrino e fluvial) de ambientes transicionais e marinhos.

Na etapa cinco, com o aumento gradativo da paleobatimetria, ocorre deposição característica de margens passivas: após a instalação da plataforma carbonática, há acumulação de sedimentos marinhos de águas profundas. Já ao final do Cretáceo, a margem sudeste é alimentada por intenso aporte sedimentar advindo dos soerguimentos das Serras do Mar e da Mantiqueira, levando a progradação de siliciclásticos em direção a quebra da plataforma.

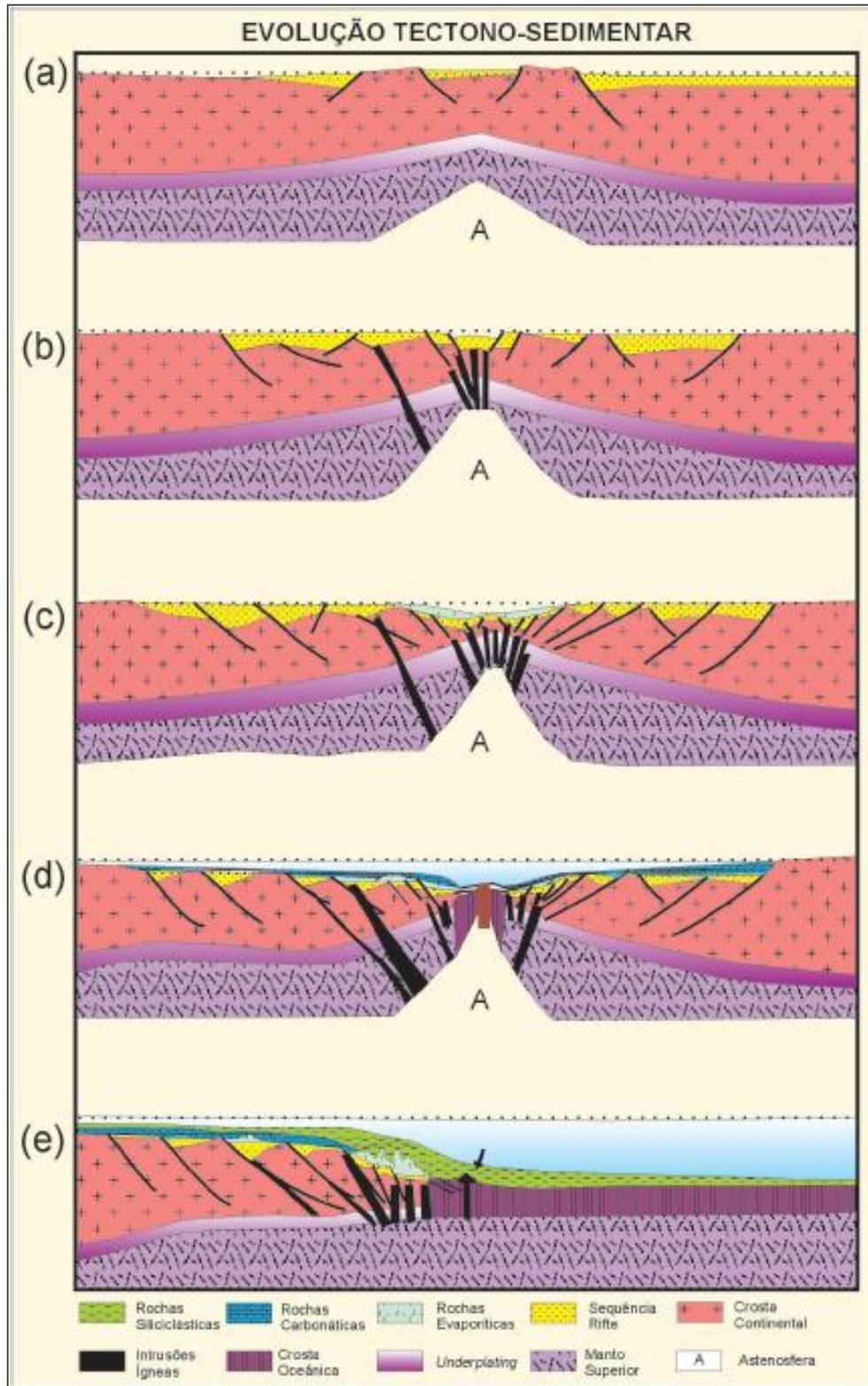


Figura 6: Esquema da evolução da Margem Continental Brasileira divergente. (a) início do estiramento litosférico com pequenos depósitos sedimentares. (b) primeiras intrusões basálticas. (c) evolução para um ambiente marinho restrito, com deposição da sequência transicional. (d) início do espalhamento oceânico pela intrusão de crosta oceânica. (e) evolução para fase drifte/margem passiva. Fonte: Mohriak, 2003.

6. BACIA DE SANTOS

A Bacia de Santos consiste em uma bacia sedimentar pertencente à Margem Sudeste Brasileira (Figura 7), localizada entre os paralelos 23° e 28° sul, que engloba uma área com cerca de 350.000 km², dentre os quais 200.000 km² encontram-se em lâminas d'água até 400 m, e 150.000 km² entre cotas de 400 m a 3000 m (Mohriak, 2003). Sua origem remonta ao Juro-Cretáceo, sendo semelhante às demais bacias desta porção da margem, formadas durante o episódio de rifteamento e separação do supercontinente Gondwana (Nunes *et al.*, 2004)

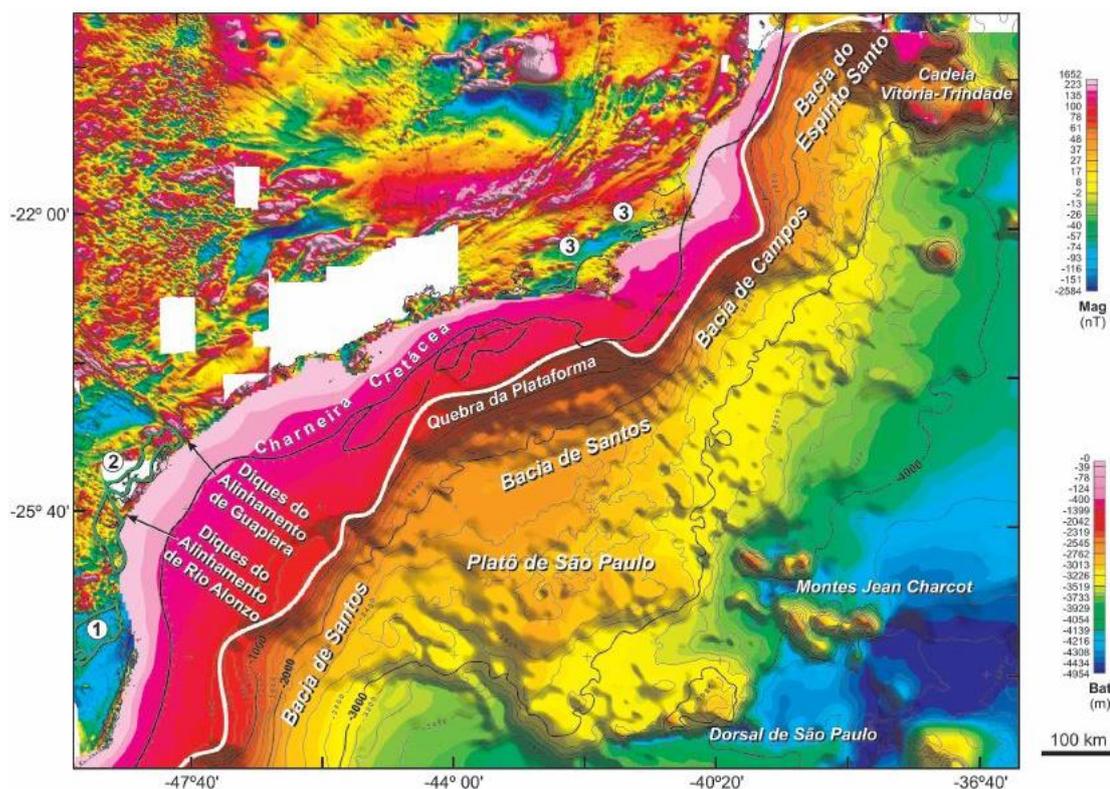


Figura 7: Mapa batimétrico regional a partir da Margem Sudeste Brasileira, destacando as principais estruturas topográficas que são encontradas na Bacia de Santos e em regiões adjacentes. Fonte: Zalán, 2005.

Geologicamente, a bacia de Santos é definida como uma depressão, limitada ao norte pelo Alto de Cabo Frio, que a separa da Bacia de Campos, e ao sul pelo Lineamento Florianópolis, formado por grandes feições regionais que a limitam da Bacia de Pelotas (Gamboa *et al.* 2008). Na direção leste, a bacia estende-se até o limite oriental do Platô de São Paulo, enquanto que a oeste encontra-se limitada pela Serra do Mar, feição responsável por confiná-la ao domínio oceânico (Nunes *et al.*, 2004).

Em termos estruturais, a bacia pode ser dividida em duas porções distintas: uma parte mais interna, rasa, próxima à zona litorânea, onde o pacote sedimentar não ultrapassa 2000 m de espessura; e uma mais externa, profunda, onde o embasamento encontra-se a mais de 8000 m de profundidade (Leyden et al., 1971; apud Alves, 2002; Ponte & Asmus, 1976; Alves, 2002). Essas duas partes individualizadas são separadas por um sistema de falhamentos normais com mergulhos sintéticos, comportando-se como uma charneira. Esta feição tectônica, que apresenta direção coincidente a linha de costa e encontra-se localizada na parte intermediária da plataforma continental, é denominada de Charneira de Santos ou Charneira Cretácea (Alves, 2002), uma vez que confina a sedimentação Cretácea à porção leste (Nunes *et al.* 2004).

Como o processo de distensão da crosta na região ocorreu com uma direção preferencial E-W, infere-se que o estiramento tenha tido componentes transtracionais, uma vez notada a obliquidade das falhas pré-existentes (Macedo, 1989; Pereira & Macedo, 1990). Essa extensão diferencial da crosta continental durante a fase rifte favorecera a implantação de três importantes zonas de transferências (Z.T) na bacia: Z. T. do Rio de Janeiro, Z. T. de Curitiba e Z. T. de Florianópolis (Macedo, 1989; Pereira & Macedo, 1990; Alves, 2002), como podem ser visualizadas na figura 8. Tais zonas se formaram para acomodar os diferentes deslocamentos entre os blocos crustais de reologias distintas (Nunes *et al.*, 2004). Na área oceânica, essas zonas de transferências podem estar relacionadas aos prolongamentos para oeste das Zonas de Fraturas Oceânicas, como, por exemplo, pode ser o caso da Z. T. de Florianópolis associada ao SFRG e dos prolongamentos da Z. T. do Rio de Janeiro associados a Z F de Martim Vaz. (Alves, 2002).

Como observado no tópico anterior, a evolução tectono-sedimentar da bacia de Santos tem suas características balizadas pelo desenvolvimento da Margem Sudeste do Brasil durante o Mesozóico. Todos os mega processos comumente envolvidos na formação de uma margem passiva deixaram seus registros na sedimentação da bacia. Além deles, outras variáveis de mesma importância como a eustasia, o tectonismo local e o clima se combinaram para reger a estratigrafia hoje conhecida (Alves, 2002).

Para ilustração e estudo mais aprofundado da estratigrafia da Bacia de Santos, optou-se por abordar a carta estratigráfica usada por Gamboa *et al.* (2008), retirada de Pereira e Feijó (1994) com algumas alterações (figura 9). Em geral, pode-se dividi-la em três fases principais: rifte, constituída por derrames basálticos e sedimentação lacustre; transicional,

formada por depósitos evaporíticos; e margem passiva/drifte, com presença de deposição carbonática, sedimentação clástica e sedimentos marinhos de águas profundas.

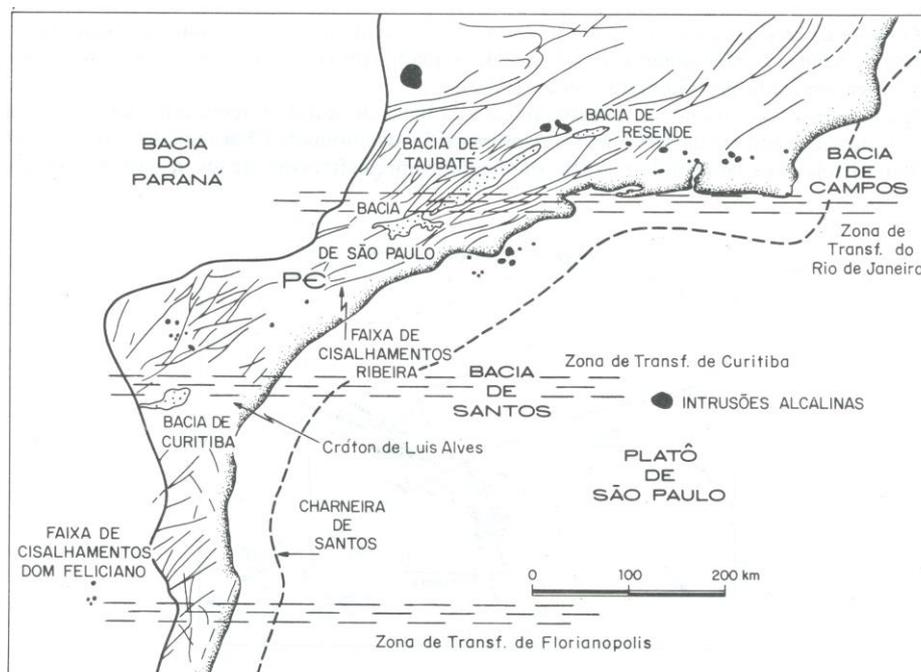
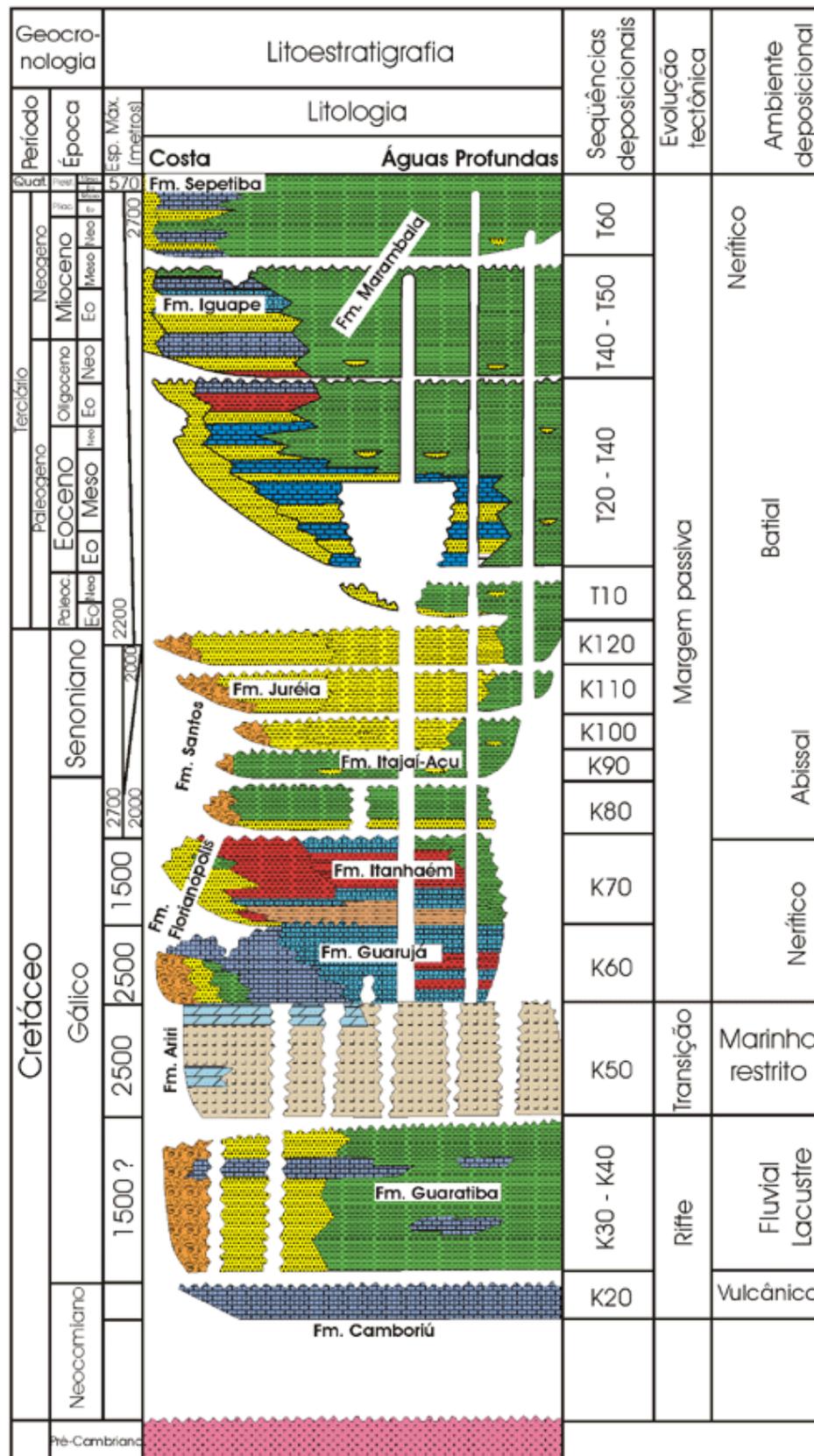


Figura 8: Mapa do embasamento pré-cambriano da Bacia de Santos com identificação da Charneira de Santos e das Zonas de Transferência definidas por Macedo (1989) e Pereira & Macedo (1990). Fonte: Pereira & Feijó (1994).

Em comparação com a bacia localizada ao seu sul - bacia de Pelotas - é importante ressaltar que apesar da semelhança no que diz a respeito aos traços gerais de sua evolução divergente (Fontana, 1996), suas estratigrafias se apresentam distintas, notavelmente pela inexistência da sequência transicional em Pelotas. A justificativa para essa ausência será detalhada adiante, no tópico Estudos prévios sobre a Dorsal de São Paulo.

A fase transicional, que consiste na passagem da fase rifte para margem passiva, ocorreu em um ambiente marinho restrito, marcando o início da fase de subsidência termal. O clima árido vigente na época atrelado as periódicas transgressões marinhas responsáveis por invadir o golfo existente favoreceram o desenvolvimento da bacia evaporítica a partir da bacia de Santos em direção ao norte (Ponte & Asmus, 1976; Gamboa *et al.* 2009). Especificamente em Santos foram depositados espessos pacotes salíferos (Formação Ariri), em um curto período, com duração aproximada de 500 mil anos (Gamboa *et al.* 2009). A magnitude da espessura de sal formada *in situ* possui um significado geotectônico importante, indicando que este período foi marcado por uma taxa de subsidência anormalmente elevada, coincidente com o início da formação de crosta oceânica (Gamboa *et al.*, 2009).



Modificado de Boletim de Geociências da Petróbras, no. 1, vol. 8, 1994.

Figura 9: Carta Estratigráfica da Bacia de Santos. Fonte: Gamboa *et al.*, 2008.

7. ESTUDOS PRÉVIOS SOBRE DORSAL DE SÃO PAULO

A Dorsal de São Paulo é uma feição proeminente na batimetria da Margem Continental Sudeste brasileira (MCSB) (figura 10), sendo responsável por separar a bacia oceânica da Argentina, a seu sul, da Bacia de Santos, a seu norte (Gamboa & Rabonowitz, 1981). Consiste em uma cadeia linear do embasamento submarino, com orientação aproximada E-W, se estendendo por cerca de 220 km ao sul do Platô de São Paulo (Gamboa & Rabonowitz, 1981; Alves, 1981).

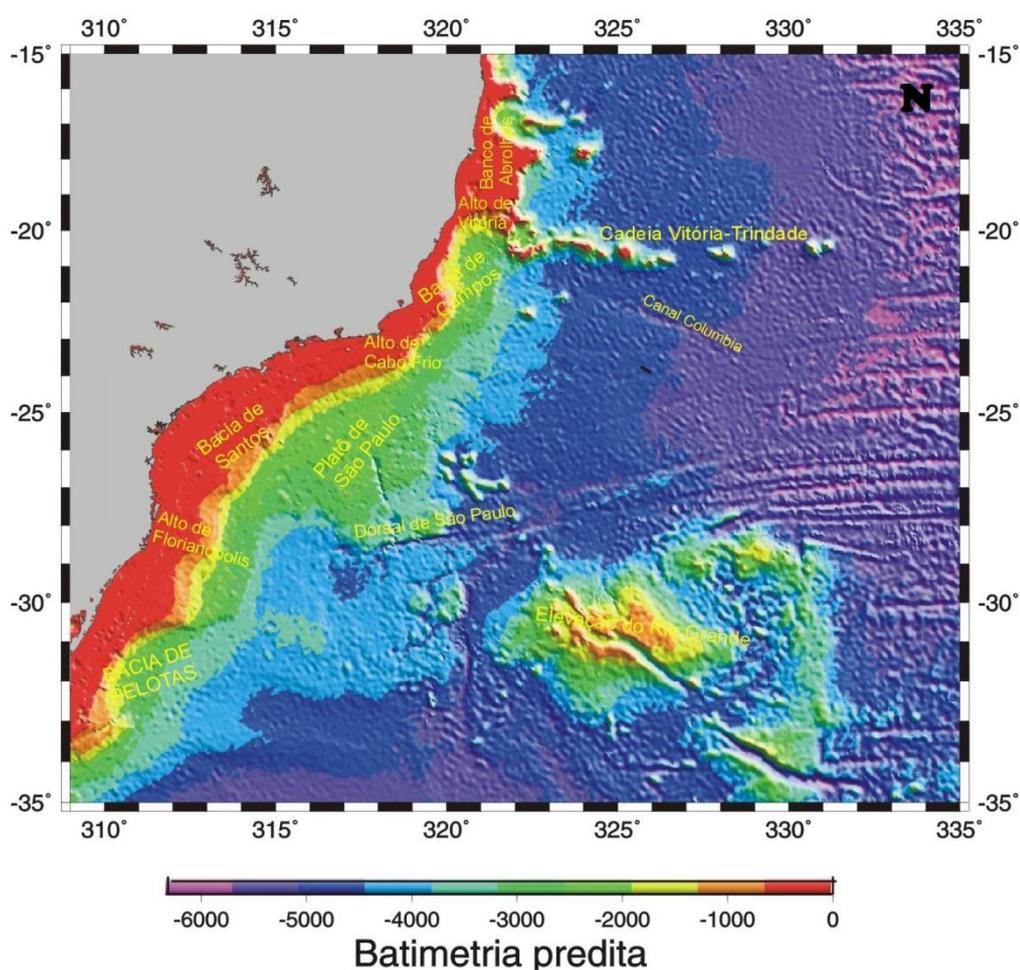


Figura 10: Mapa de Batimetria da MCSB e suas principais feições destacadas, incluindo a Dorsal de São Paulo.

Fonte: Alves, 2002.

7.1 Aspectos Morfológicos

A partir de estudos geofísicos realizados pelo *DSDP* (Gamboa *et al.*, 1977), fora constatada uma fisiografia irregular no fundo oceânico onde aflora a Dorsal de São Paulo.

Segundo Gamboa *et al.* (1977), ela apresenta características morfológicas distintas quando se comparam seus flancos norte e sul. O flanco norte da Dorsal encontra-se soterrado pela sequência deposicional do Platô de São Paulo, apresentando uma discrepância altimétrica de 500 m em relação à profundidade dominante do Platô (Kumar e Gamboa, 1979). Por outro lado, o flanco sul contém uma topografia muito íngreme, aprisionando o retrabalhamento da Corrente de Fundo da Antártica (AABW) na bacia oceânica (Gamboa e Kumar, (1977).

Ao sul da escarpa da Dorsal de São Paulo, desenvolveu-se o Canal homônimo, resultado da ação da AABW que flui da bacia da oceânica da Argentina em direção à bacia oceânica Brasileira (Pereira, 2010). Parte dessas correntes advindas do sul é impedida de fluir em direção à Dorsal, que em função de seu “papel barreira”, forma um complexo de sistemas de correntes secundárias capazes de retrabalhar os sedimentos da região, provocando ondulações no fundo oceânico, conforme observado na figura 11 (Basseto *et al.* 2000).

Em relação à morfologia do embasamento, nesta região adjacente à Dorsal, imediatamente ao seu sul, identifica-se um vale profundo contínuo e paralelo, seguido por duas cavas e dois altos, alternados e soterrados (Gamboa e Rabinowitz, 1981; Alves, 1981). Segundo Kumar *et al.* (1977), essas estruturas, em conjunto, parecem definir o comportamento de uma zona de fratura.

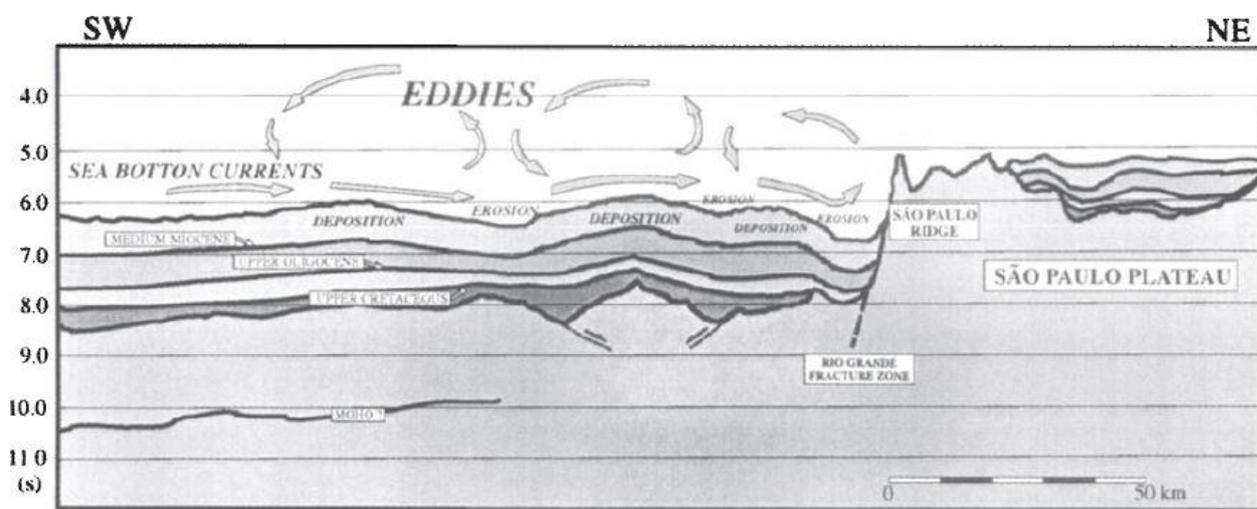


Figura 11: Interpretação sísmica da linha do 59-LEPLAC realizada por Basseto *et.al* (2000), indicando a morfologia ao sul da Dorsal de São Paulo retrabalhada pelas correntes de fundo, e o papel desempenhado pela feição como barreira à circulação. Fonte: Levemente modificado de Basseto *et. al.*, 2000.

7.2 Composição

No aspecto composicional, apesar do furo 356 do DSDP não ter alcançado rochas ígneas do embasamento, análises petrográficas de alguns fragmentos de basalto coletados na seção sedimentar associados à Dorsal de São Paulo, em conjunto com dragagens realizadas pelo *Lamont-Doherty Geological Observatory* no flanco sul da mesma feição indicam sua composição máfica (Kumar *et al.* 1977). Kumar *et al.* (1977) sugerem, ainda, que estas rochas tenham idade máximo entre o Aptiano e o Eo-Albiano (110-105 M.A).

7.3 Comportamento Sísmico

Através de mapeamentos sísmicos prévios realizados na região (Kumar *et al.* 1989; Alves, 1981; Basseto *et al.* 2000; Alves 2002), possibilitado por levantamentos mono e multicanal, nota-se que a expressão topográfica da cadeia é mais evidente entre os meridianos 42°30'W e 40°W (Basseto *et al.* 2000). A partir desses limites, seu relevo torna-se gradativamente menos significativo, até ser sobreposto pelo pacote sedimentar.

Diversos autores relacionam a origem da Dorsal de São Paulo a manifestações geológicas ocorridas na ZFRG (Gamboa e Rabinowitz, 1981; Alves, 1981 e 2002; Fodor, 1984; Gomes *et al.*, 1993; Basseto *et al.*, 2000; Pereira, 2010), uma vez notadas suas orientações E-W coincidentes, e morfologias do embasamento correlacionáveis. No mesmo contexto, como observado no tópico 4, Gamboa e Rabinowitz (1981) e Alves (1981) sugerem, que o Alto de Florianópolis e alguns lineamentos continentais também façam parte deste mesmo *trend* tectônico – ZFRG.

7.4 Origem

Ainda que não tenha sido possível a datação precisa das rochas da Dorsal de São Paulo, estudos mais aprofundados procuraram entender qual a origem desses eventos geológicos responsáveis pela formação da cadeia vulcânica. Fodor (1979) sugere que ela possa representar o regime tectônico vertical de intrusões de rocha do manto superior e, assim, estaria relacionada a atividades hidrotermais da Zona de Fratura. Contudo, Gomes *et al.* (1993) a define como a cicatriz mais expressiva das atividades magmáticas ao longo da Zona de Fratura do Rio Grande e questiona se este vulcanismo não seria correlacionável ao da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Já Basseto *et al.* (2000) afirma que cadeia vulcânica é resultado do magmatismo ao longo da descontinuidade crustal, apresentando suas

raízes no embasamento ígneo, sem, no entanto, indicar datação para o vulcanismo. Corroborando com Kumar (1977), Alves (2002) sugere a formação da Dorsal associada ao vulcanismo no segmento fóssil da Zona de Fratura de Rio Grande decorrente do magmatismo da Pluma de Tristão da Cunha.

7.5 Configuração Barreira

Durante o Aptiano, a sedimentação ao longo da Margem Continental Brasileira foi afetada por uma série de restrições à circulação marinha aberta. Como resultado há a deposição da espessa camada evaporítica cobrindo a sedimentação *rift*, desde a bacia marginal de Santos até a bacia Sergipe-Alagoas (Ponte e Asmus, 1976; Basseto *et al.* 2000; Gamboa *et al.* 2009). Neste sentido, diversos autores (Gamboa e Rabinowitz, 1981; Basseto, 2000; Alves, 2002; Azevedo, 2004; Dias, 2005; Gamboa *et al.*, 2009; Machado; 2010, Pereira, 2010) indicam a participação da Dorsal de São Paulo como feição restritiva.

Especificamente segundo Dias (2005), a Dorsal de São Paulo em conjunto com o Alto de Florianópolis tiveram fundamental importância na deposição evaporítica, impedindo a incursão marinha efetiva no golfo existente. Uma vez que o limite meridional do sal se posiciona mais ao sul no Brasil do que na África, o mesmo autor infere que o limite sul dos evaporitos foi delimitado exclusivamente pelo conjunto Dorsal de São Paulo - Alto de Florianópolis, que nesta época, segundo Kumar *et al.* (1979) estavam no nível do mar ou próximo a ele. Dias (2005) sugere que não houve contribuição da Elevação do Rio Grande (no lado brasileiro), e, nem da Cadeia Walvis (no lado africano) (figura 12). Estas últimas feições são provavelmente mais jovens, implantadas sobre crosta oceânica de idade, pelo menos, Neocretácea.

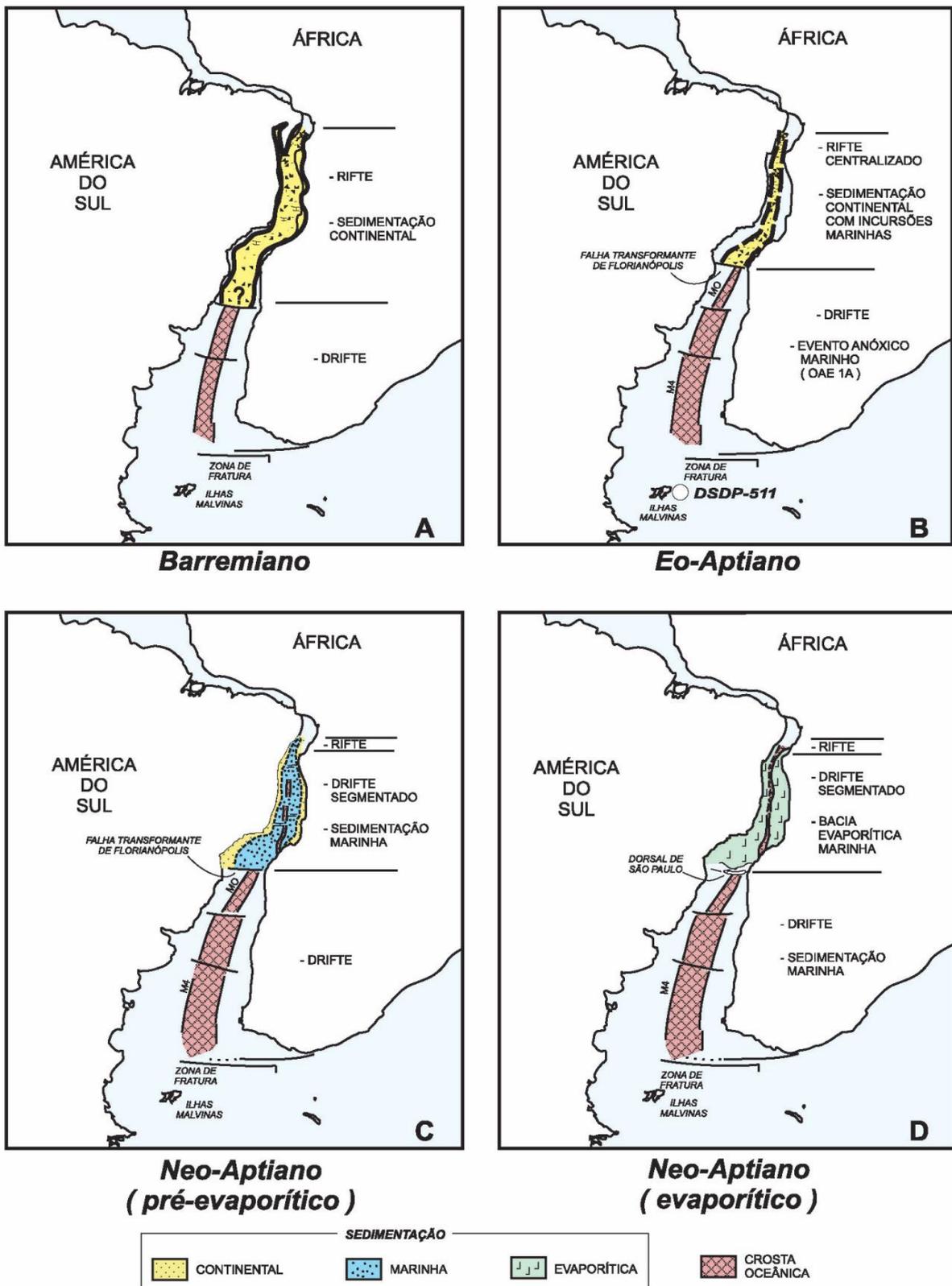
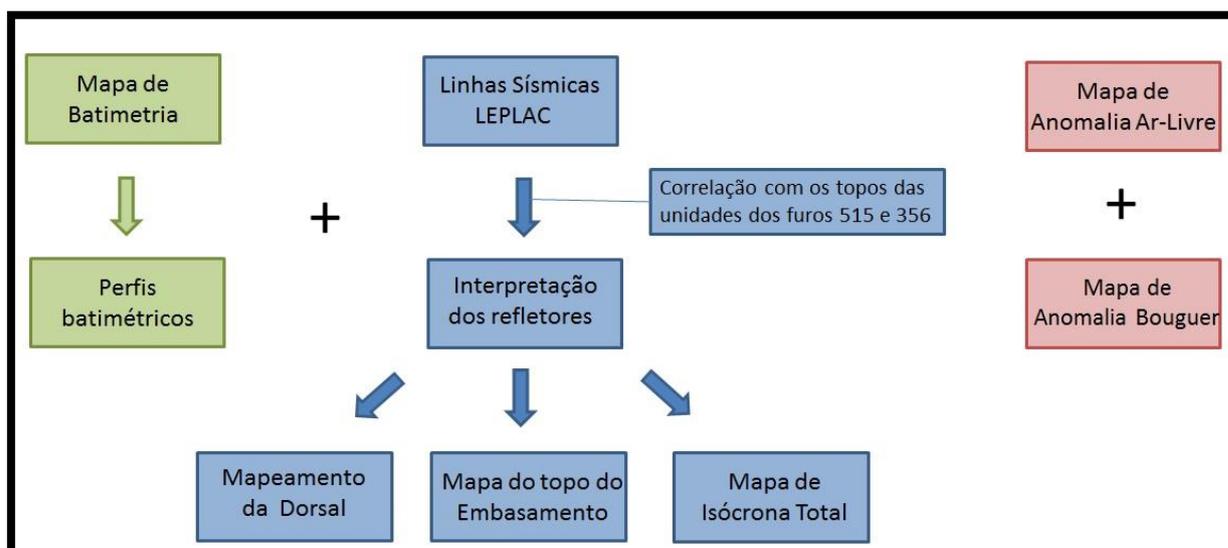


Figura 12: Reconstruções paleogeográficas do Barremiano ao Neo-aptiano, mostrando as principais fases tectonossedimentares no Atlântico Sul e o papel exercido pela Dorsal de São Paulo como barreira estrutural. Fonte: Dias, 2005.

8. BASE DE DADOS E METODOLOGIA

Para desenvolvimento do trabalho e alcance do objetivo principal, foram interpretados e integrados dados geofísicos – Perfis Sísmicos Multicanal 2D, Dados de Poço (DSDP, furos 356 e 515, com mapeamento de suas unidades realizado previamente), Mapa e perfis batimétricos, Mapas de métodos potenciais (Anomalia Bouguer e Ar-Livre) - após a compilação bibliográfica da área de estudo e sua respectiva revisão.



Esquema 1: Procedimento básico para a reunião da base de dados e alcance do objetivo principal.

8.1 DADOS SÍSMICOS

Ao todo, foram reunidas nove linhas sísmicas do Plano de Levantamento da Plataforma Continental Brasileira IV (LEPLAC), que imageiam feições aflorantes e soterradas da Dorsal de São Paulo, além de apresentar o contraste estratigráfico entre as Bacias de Santos e a bacia oceânica da Argentina. Na figura 13 se encontra a localização das linhas selecionadas.

O projeto LEPLAC foi planejado com o intuito de adquirir maiores informações sobre a geologia marinha na zona exterior ao limite da plataforma continental jurídica brasileira (a partir das 200 milhas náuticas), o que atribuiu a ele uma grande importância econômica e estratégica.

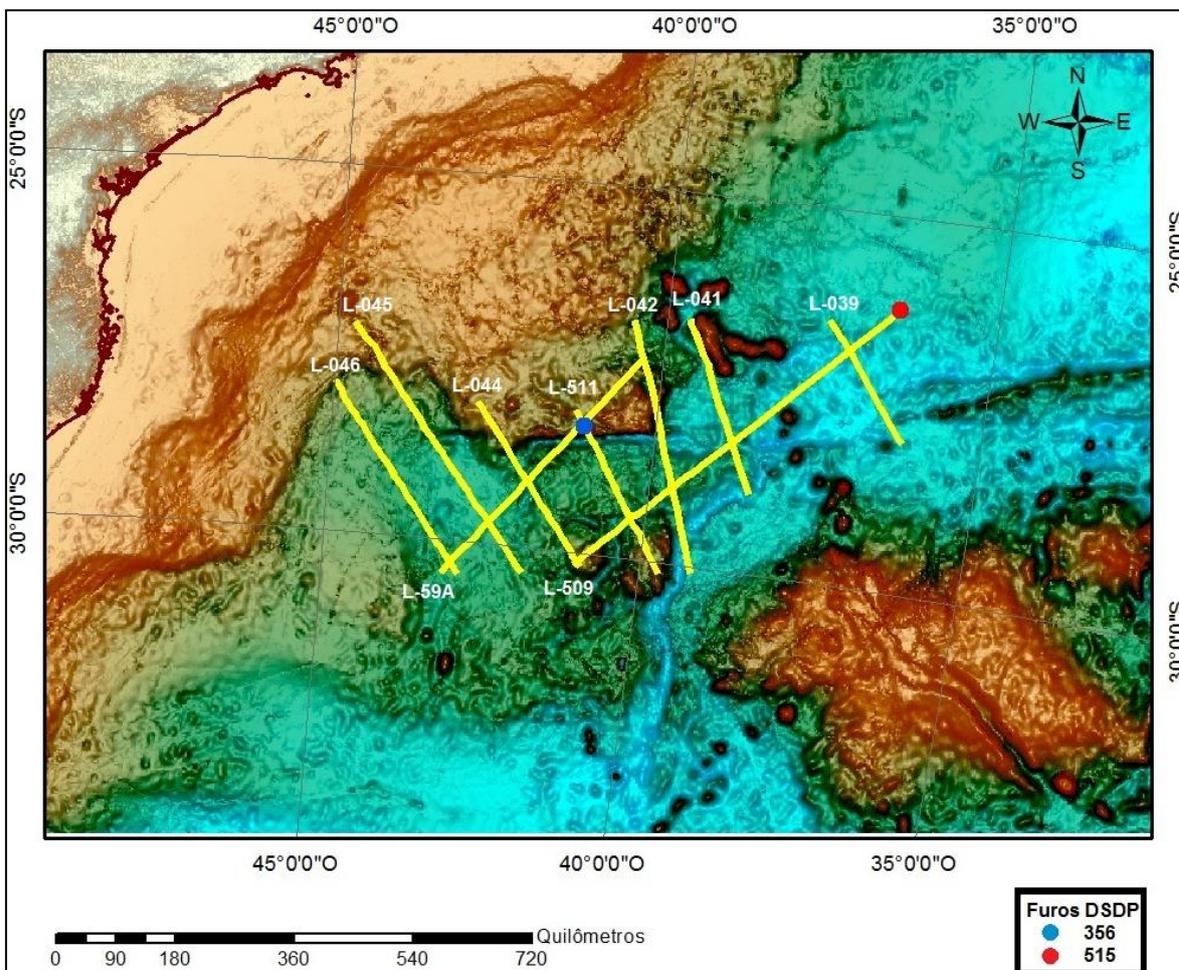


Figura 13: Distribuição das nove linhas selecionadas do projeto LEPLAC e dos dois poços utilizados do DSDP. Tal distribuição foi escolhida para propor uma melhor investigação e mapeamento da estrutura em estudo. Fonte: Mapa batimétrico com dados retirados de Smith e Sandwell (1997).

8.2 DADOS DE POÇO

Com o intuito de correlacionar o topo das unidades interpretadas às linhas sísmicas selecionadas, datando os refletores que correspondam ao mesmo evento geológico, foram utilizados os poços 356 e 515 do DSDP, localizados na figura 13, e que coincidem, respectivamente, com os perfis sísmicos L-511 e L-509. O *Deep Sea Drilling Project* foi um dos principais projetos responsáveis por investigar, através da sondagem, regiões profundas do oceano, aumentando consideravelmente o volume de informações que até então se obtinha sobre feições vulcânicas e/ou estruturais do assoalho oceânico.

O furo 356 se localiza nas coordenadas 28°17.22'S e 41°05.28'W, ao flanco norte da Dorsal de São Paulo, alcançando uma coluna sedimentar de 741 m do Platô de mesmo nome

(Perch-Nielsen et al. 1977). A datação máxima destes sedimentos foi Albiana, não apresentando quaisquer registros do embasamento ígneo associados à Dorsal. Na tabela abaixo (Tabela 1) se encontra um resumo das principais informações cronoestratigráficas identificadas por Perch-Nielsen *et al.* 1977 relacionadas ao furo 356.

Unidades litológicas (m)	Profundidade abaixo do fundo do mar (m)	Espessura (m)	Idade	Descrição litológica
1	0-93	93	Pleistoceno - Mioceno Inferior	Calcário oolítico
2	93-222	129	Eoceno Superior - Eoceno Inferior	Calcário sílico e calcário sílico oolítico
3	222-294.5	72.5	Eoceno Inferior	Calcários silicificados
4	294.5-432	137,5	Paleoceno Superior - Maestrichiano	Calcários nano-foraminíferos
5	432-665	233	Maestrichiano - Santoniano	Calcário margoso
6	665-708	43	Coniciano - Turoniano Médio	Argila escura-acinzentada e conglomerados com seixos argilosos
7	708-?	?	Albiano Superior	Marga dolomítica e calcário argiloso

Tabela 1: Resumo litológico e estratigráfico do poço 356. Fonte: Adaptado de Perch-Nielsen *et al.* 1977

Já o furo 515, localizado nas coordenadas geográficas 26°14.31'S e 36°30.17'W, situa-se sobre a bacia oceânica do Brasil, a 200 km ao norte da desembocadura do Canal Vema. Ao contrário do poço anterior, conforme identificado por Barker *et al.* (1983), as camadas mais antigas alcançadas pelo furo foram datadas do Eoceno Inferior. Já a coluna sedimentar apresenta uma espessura total de 636,4 m (Barker *et al.* 1983). A tabela a seguir (Tabela 2) apresenta o resumo litológico do poço 515, com as principais características analisadas por Barker *et al.* (1983).

Unidades litológicas (m)	Profundidade abaixo do fundo do mar (m)	Espessura (m)	Idade	Descrição litológica
1	0-180	180	Mioceno Superior ao Quaternário	Lama terrígena acizentada castanha e camadas intermitentes de carbonato biogênico na parte superior
2a	180-531	351	Oligoceno Superior ao Mioceno Médio	Argila biossilicosa escura cinza esverdeada e argilito com ocasionais camadas ricas em nanoplancton e raras camadas ricas em foraminíferos
2b	531-615	84	Oligoceno Superior	Argilito terrígeno esverdeado escuro a cinza
3	617-636	19	Eoceno	Argilito calcário zeolítico cinza esverdeado

Tabela 2: Resumo litológico e estratigráfico do poço 515. Fonte: Modificado de Barker et al. (1983).

8.3 PERFIS BATIMÉTRICOS

A fim de comparar a expressão topográfica da Dorsal de São Paulo tanto na batimetria quanto no método sísmico, analisando suas porções aflorantes e soterradas, foram elaborados cinco perfis batimétricos através do software Google Earth, orientados com a direção NW-SE, dispostos transversalmente à feição foco da pesquisa (figura 17).

É importante ressaltar que o mapa Batimétrico, onde são encontradas as linhas sísmicas sobrepostas; o mapa de Anomalia Ar-livre e o mapa de Anomalia Bouguer foram cedidos por Alves *et al.* 2011, tendo sido processados a partir dos dados de Smith e Sandwell (1997).

8.4 ASSOCIAÇÕES DOS DADOS

Inicialmente, para a reunião adequada dos dados sísmicos e de poço, foi realizado uma etapa prévia de georreferenciamento através do *software* ArcGIS padronizando ambos os

sistemas de coordenadas para a projeção Policônica, utilizando o *South Atlantic Datum 69*. Pelo programa Google Earth foram traçados os caminhos onde se desejava visualizar o comportamento morfológico da Dorsal de São Paulo, para a confecção dos perfis batimétricos coincidentes.

Após a padronização dos sistemas de coordenadas, os nove perfis sísmicos e os topos das unidades dos poços 356 e 515 foram importados ao software Petrel, responsável por possibilitar a correlação dos dados, interpretação dos refletores e de falhamentos, elaboração do mapa do topo do embasamento e de isóbata total, em tempo duplo. As seções sísmicas originais foram cortadas de acordo com a zona de interesse, já que algumas delas se prolongavam até a plataforma continental, não havendo necessidade de seus mapeamentos.

Em relação às informações retiradas dos furos do DSDP, foram utilizados os mapeamentos prévios das unidades propostos por Nielsen *et al.* (1977) - Poço 356 - e Barker *et al.* (1983) - Poço 515 - correlacionados às sísmicas do próprio projeto, mono e multicanal, fornecendo o tempo duplo dos refletores com a datação associada, conforme exibido nas correlações retiradas dos respectivos projetos -356 e 515- contidos no tópico Anexos. Esta amarração foi capaz de identificar quatro refletores a norte da Dorsal de São Paulo (Poço 356 x L-511), correlacionados ao pacote sedimentar do Platô de mesmo nome, como visualizado na figura 14. Enquanto que no domínio sedimentar oceânico foram observados três refletores bem definidos (Poço 515 x L-509), exemplificados na figura 15.

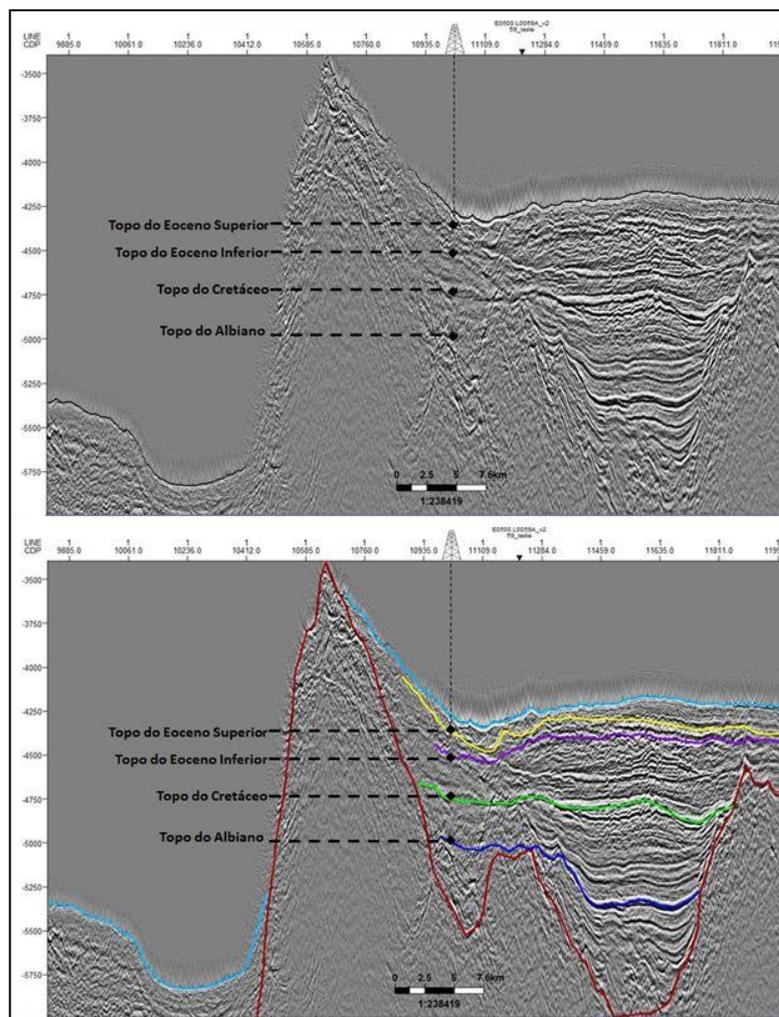


Figura 14: Correlação do topo das unidades do poço 356 (DSDP) à linha sísmica L-511. Desenho da plataforma de petróleo meramente ilustrativa. Fonte: Dados do LEPLAC e do DSDP.

A partir da correlação feita nesses dois contextos estratigráficos distintos e, reforçadas pela análise de mapeamentos sísmicos já realizados na área de estudo (Alves, (1999); Alves, (2002); Schanzembach, (2010); Pereira (2010)), foram interpretados os refletores correspondentes ao fundo do mar e ao embasamento, identificados através das reflexões de alta amplitude e com o auxílio da análise por atributos sísmicos; seguidos pelo Topo do Albiano, Topo do Cretáceo, Topo do Eoceno Inferior e Topo do Eoceno Superior, relacionados ao poço 356. Já na bacia oceânica, foram mapeados o Topo do Eoceno, Topo do Oligoceno Superior e Topo de Mioceno Médio atrelados ao furo 515. Para esta região, tentou-se, ainda, mapear o Topo do Cretáceo, corroborado pela interpretação deste refletor feita pelos referidos autores (Figura 15).

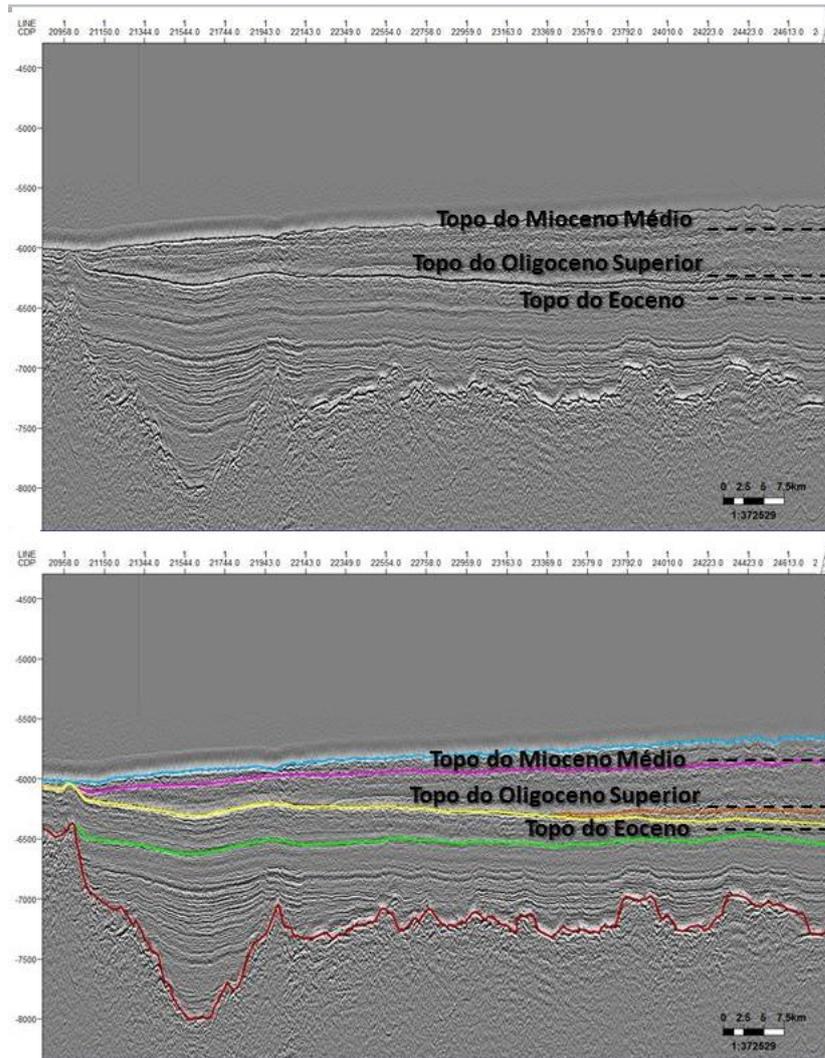


Figura 15: Correlação do topo das unidades do poço 515 (DSDP) à linha sísmica L-509. O refletor representado pela cor verde (Topo do Cretáceo) não fora mapeado através do DSDP, mas sim pela análise do mapeamento sísmico realizado por outros autores (Alves, (1999); Alves, (2002); Schanzembach, (2010); Pereira (2010) para as mesmas linhas. Desenho da plataforma de petróleo meramente ilustrativa. Fonte: Dados do LEPLAC e do DSDP.

Os mapeamentos do topo do embasamento e do fundo oceânico ao longo das nove linhas do LEPLAC permitiram a criação superfícies regionais que indicassem a profundidade destes horizontes, em tempo duplo, para toda a área de estudo, embora a malha sísmica não fosse regular e satisfatoriamente densa. Na elaboração destes mapas, foi usado o algoritmo de interpolação por convergência, padrão usado pelo software Petrel. Uma vez criados, gerou-se o mapa de isóbata total, através da subtração das superfícies citadas. Tanto o mapa do topo do embasamento quanto mapa de isóbata podem ser visualizados no tópico 11 - Discussão e Análise de Resultados.

8.5 SISMOESTRATIGRAFIA

Para melhor compreensão da configuração barreira desempenhada pela Dorsal de São Paulo ao longo do tempo geológico, são utilizados preceitos de sismoestratigrafia atrelados ao padrão das reflexões sísmicas e identificação da geometria de suas terminações, baseadas no trabalho de Vail *et al.* (1977) e Catuneanu (2008). Segundo Vail *et al.* (1977) a estratigrafia sísmica ou sismoestratigrafia é definida como um método de interpretação dos dados sísmicos, o qual possibilita uma melhor compreensão da evolução tectono-sedimentar de uma bacia. O mesmo autor afirma, ainda, que as reflexões sísmicas são geradas a partir do contraste de impedância das rochas, consistindo principalmente em superfícies de acamamento e discordâncias. As superfícies de acamamento correspondem a uma paleossedimentação, que são praticamente síncronas em quase toda sua extensão. As discordâncias são superfícies de erosão ou não-deposição, implicando na ausência física de certo intervalo deposicional.

Vail e Mitchum (1977) definem três etapas a serem seguidas na interpretação sismoestratigráfica (Figura 16): (1) Análise das seqüências sísmicas, que consiste em determinar os limites de uma seqüência; (2) Análise de fácies sísmicas; (3) Análise das mudanças relativas do nível do mar, que consiste em construir correlações cronoestratigráficas e variações relativas do nível do mar nas bacias regionais e compará-las com dados globais. Dentre essas, para esta pesquisa, são utilizadas somente as duas primeiras.

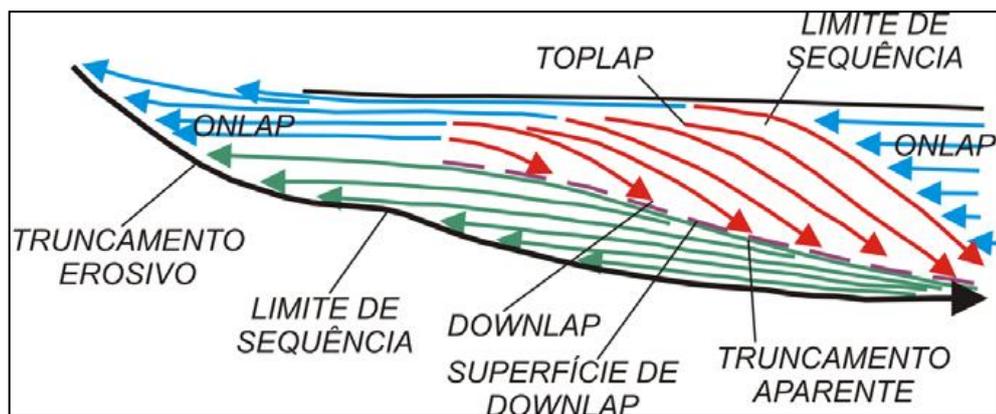


Figura 16: Identificação sismo-estratigráfica da terminação padrão dos refletores. Fonte: (Machado, 2010)

9. RESULTADOS

Neste t3pico s3o exibidos os resultados obtidos na pesquisa, que ser3o discutidos no cap3tulo posterior. Dentre eles encontram-se cinco perfis batim3tricos perpendiculares ao alinhamento da Dorsal de S3o Paulo, localizados na figura 17 e as interpreta33es das nove linhas s3smicas selecionadas (Figs. 19 a 27), contendo o mapeamento da fei33o de estudo e dos principais refletores correlacionados aos po3os do DSDP. Para uma melhor organiza33o da nomenclatura de todos os perfis, eles s3o encontrados disponibilizados na tabela abaixo:

M3TOD0		PERFIS	
BATIMETRIA	A B C D E		
S3SMICA DE REFLEX3O 2D	DIP	L-046 L-044 L-511	L-045 L-042 L-39 L-41
	STRIKE	L-509	L-059A

Tabela 3: Distribui33o dos resultados adquiridos de acordo com o m3todo geof3sico.

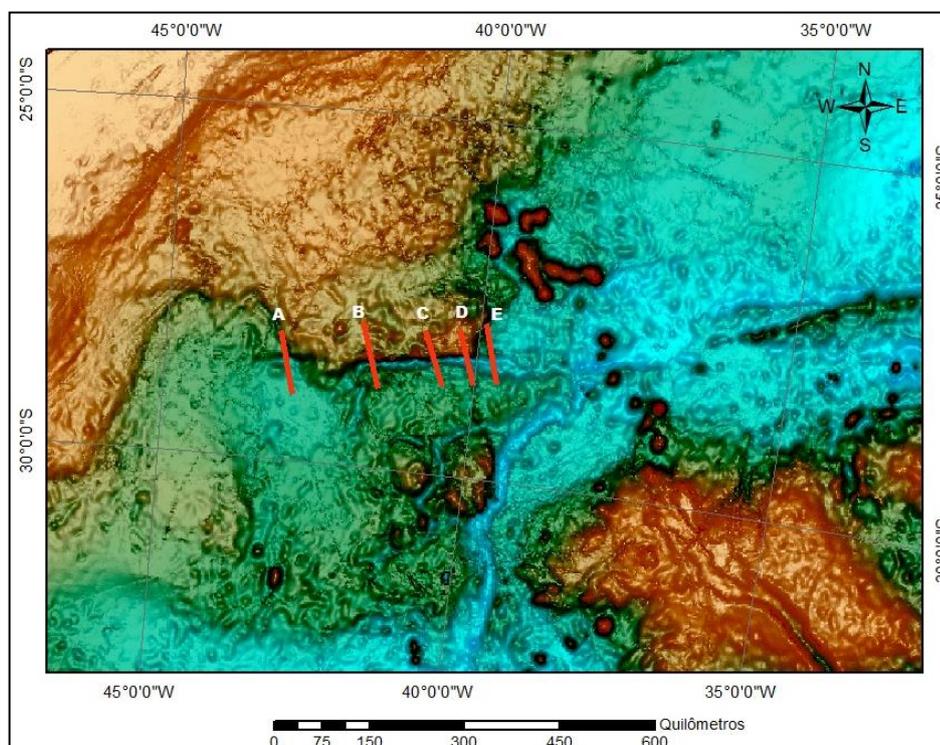


Figura 17: Mapa batim3trico com a disposi33o dos perfis topogr3ficos sobre a Dorsal de S3o Paulo.

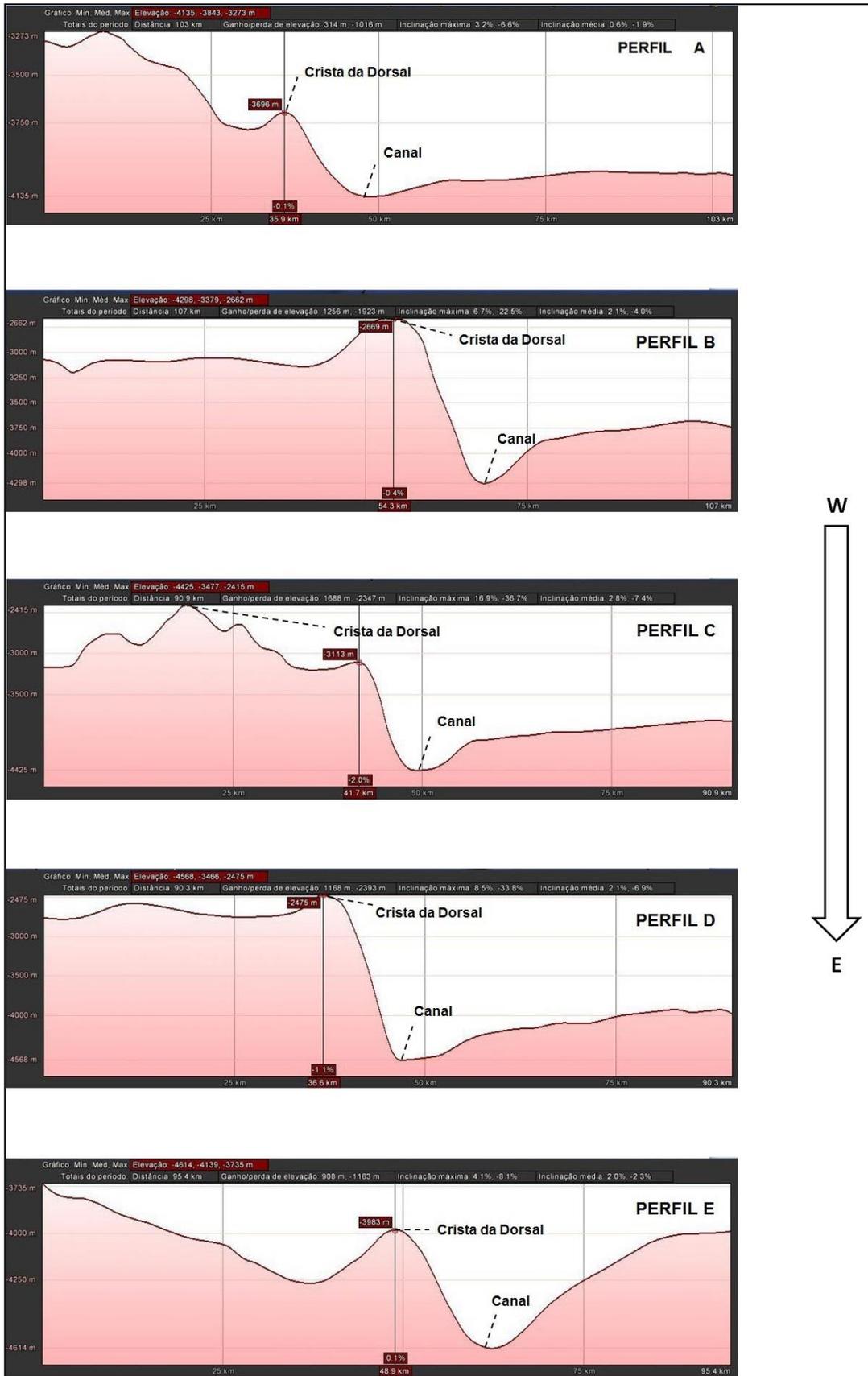


Figura 18: Perfis batimétricos de A a E, transversais à Dorsal, com identificação de suas cristas e do rebaixamento do relevo, associado a passagem do Canal de São Paulo. Fonte: Google Earth.

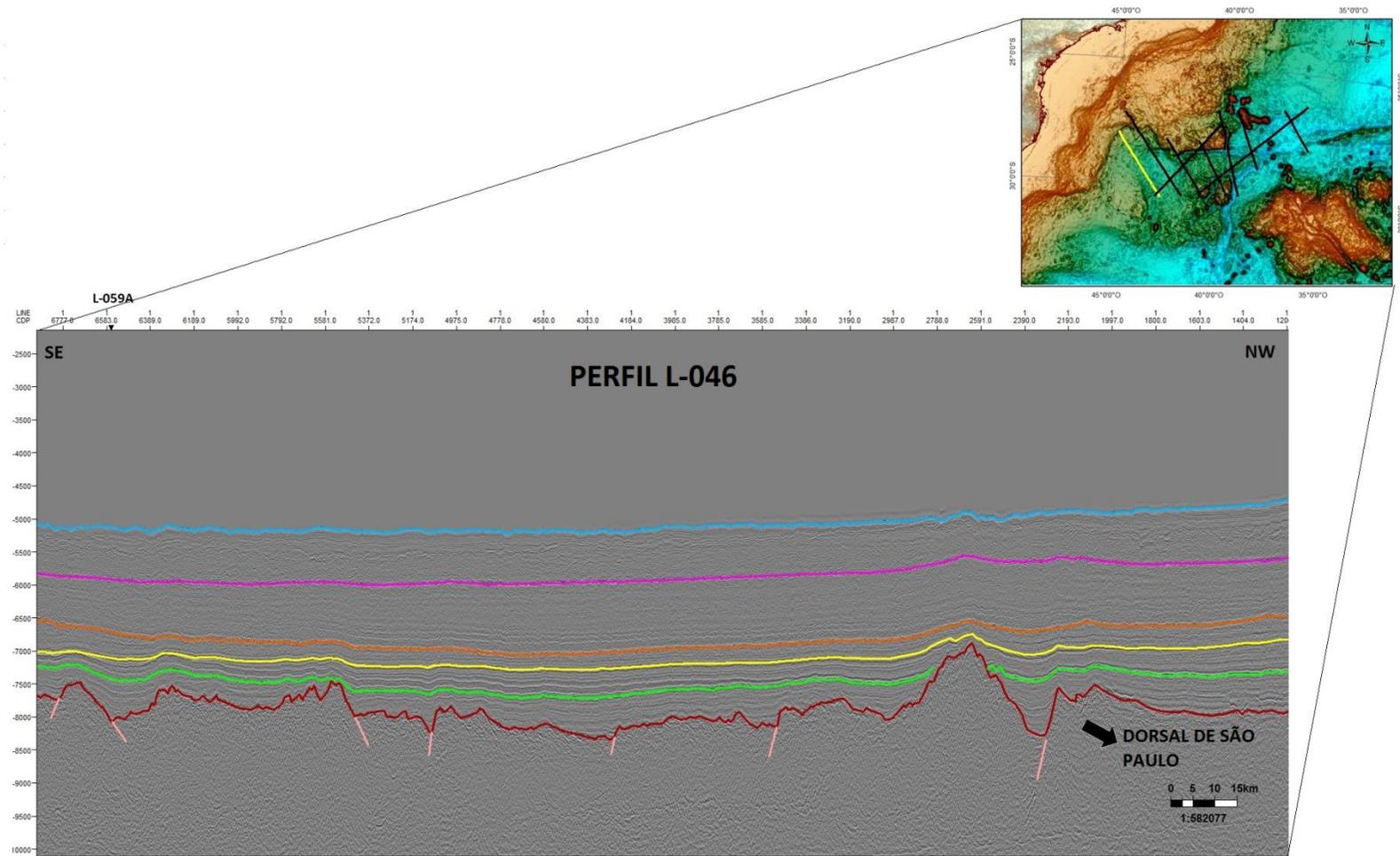


Figura 19: Seção sísmica L-046 interpretada (Dip), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo.

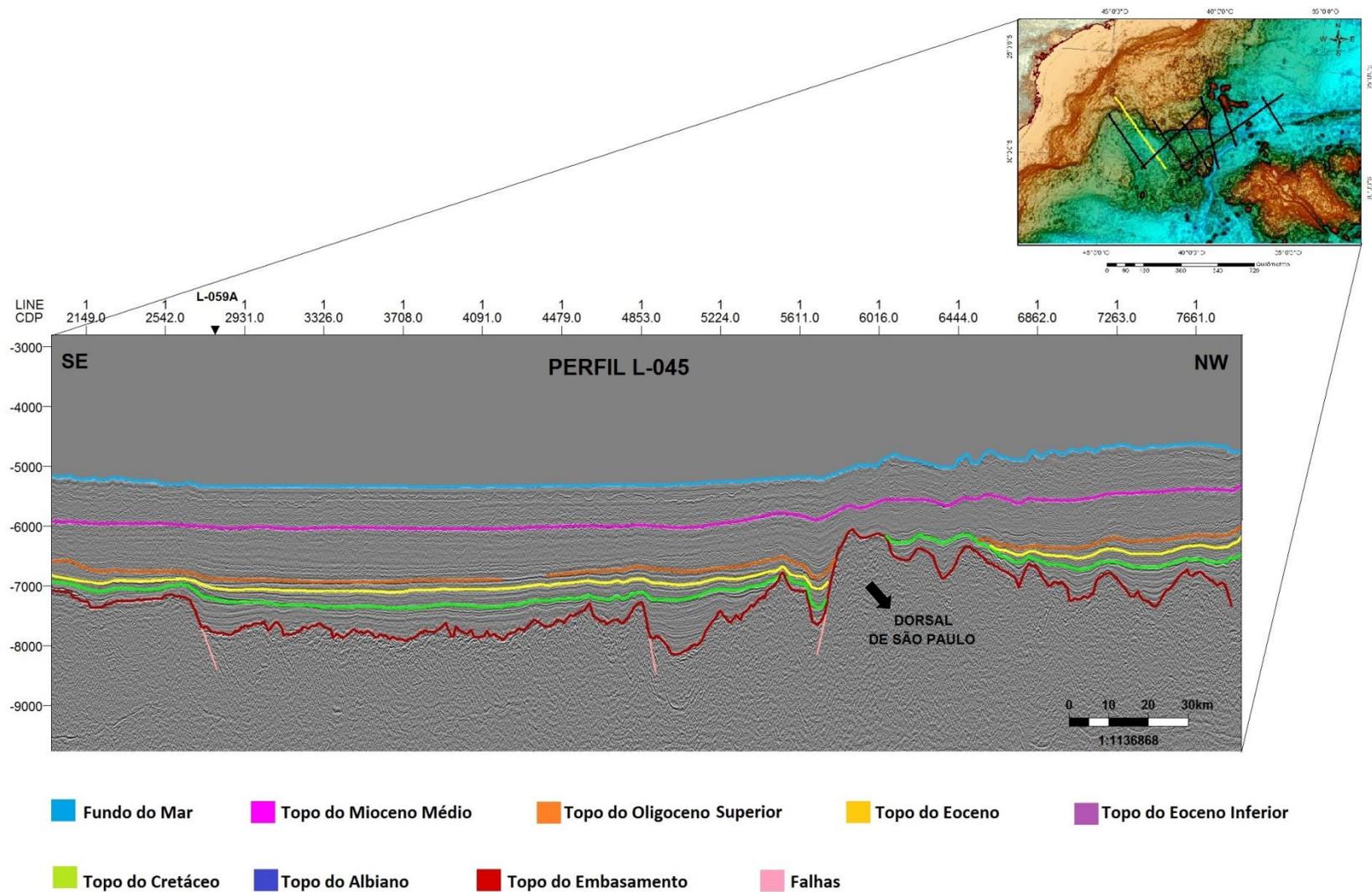


Figura 20: Seção sísmica L-045 interpretada (Dip), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo. Os refletores mapeados anteriores ao Mioceno médio truncam perante a feição de estudo.

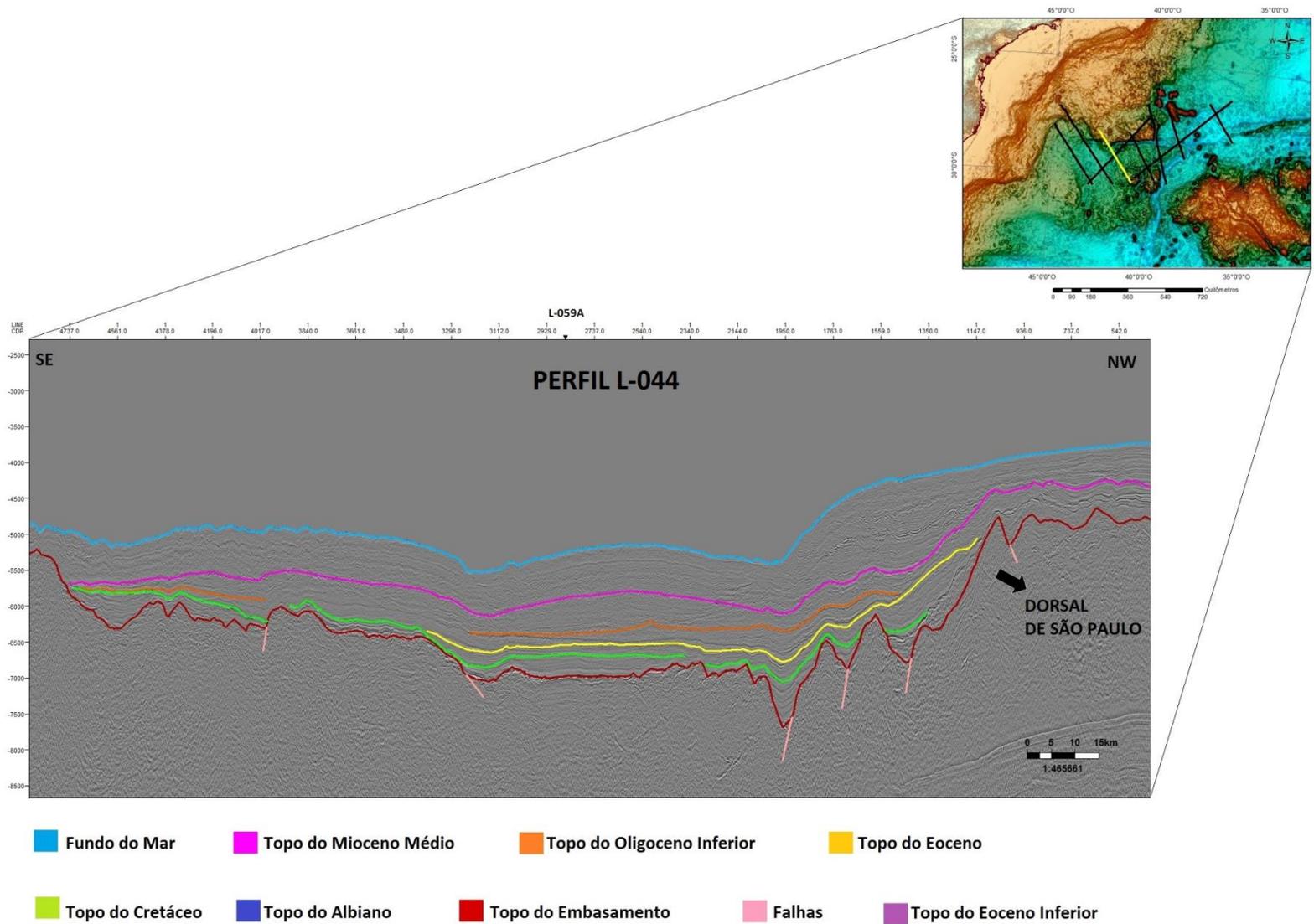


Figura 21: Seção sísmica L-044 interpretada (Dip), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo, funcionando, ainda assim, como barreira a alguns refletores mapeados.

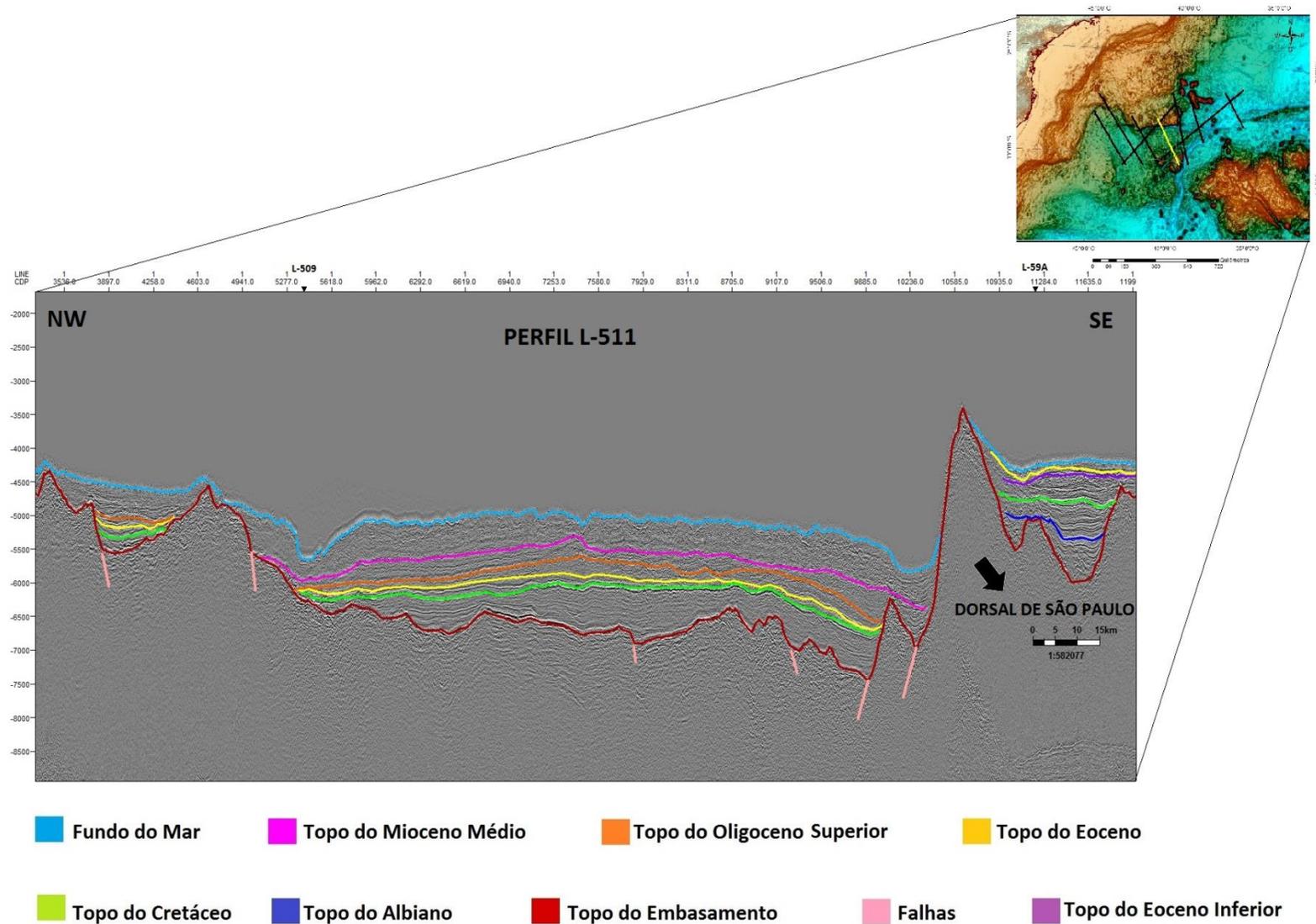


Figura 22: Seção sísmica L-511 interpretada (Dip), com identificação da porção aflorante da Dorsal de São Paulo.

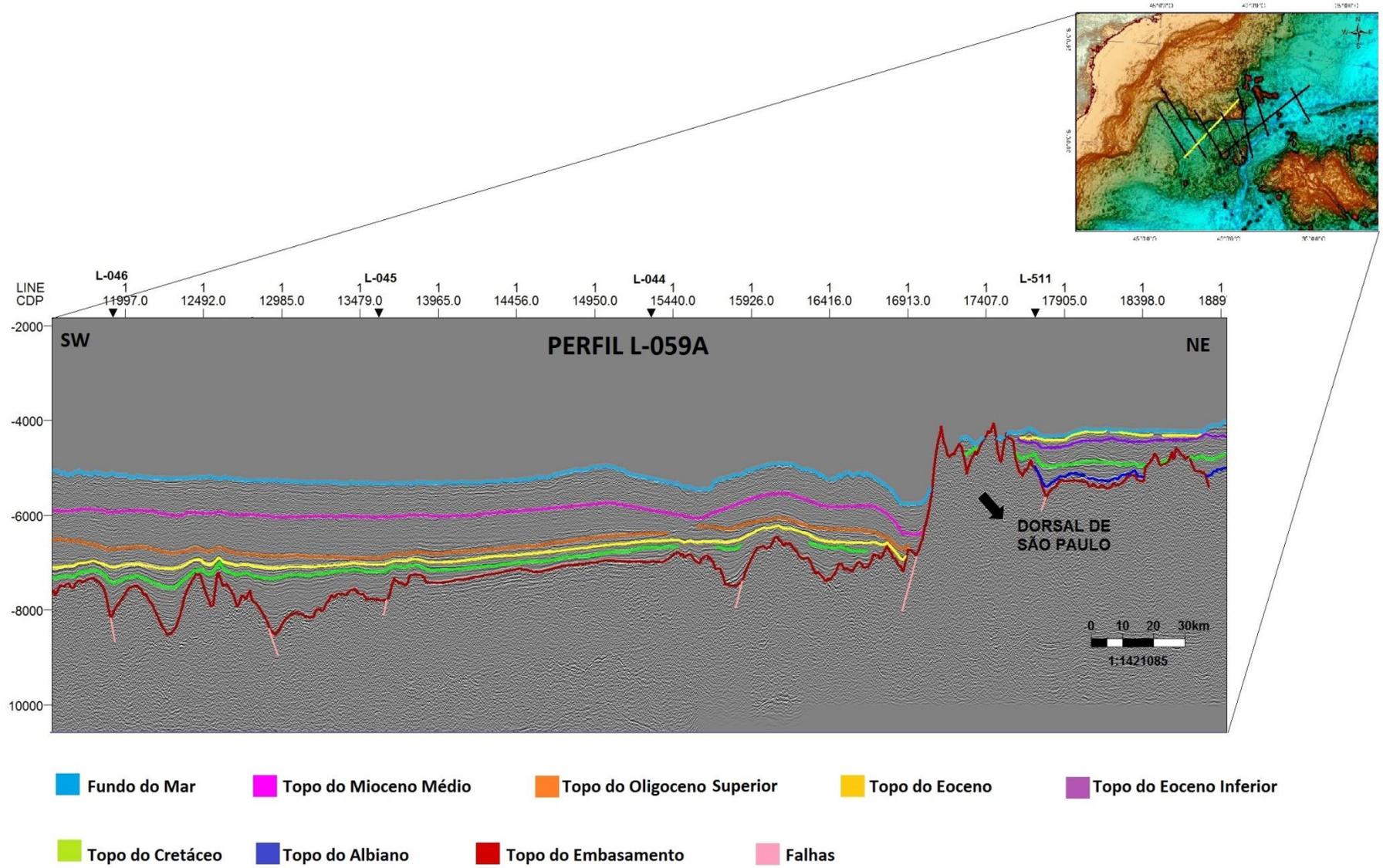
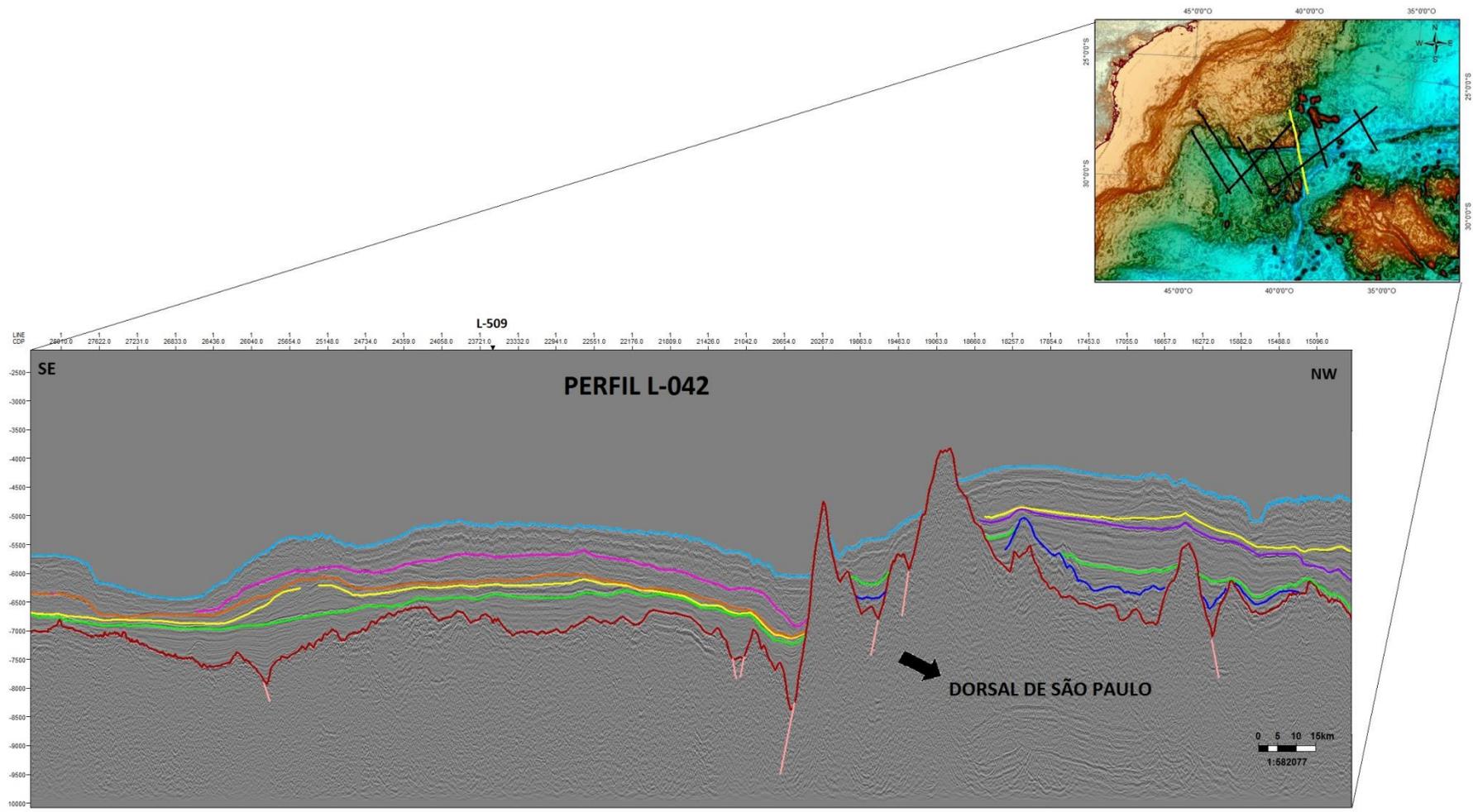


Figura 23: Seção sísmica L-059 interpretada (Strike), com identificação da porção aflorada da Dorsal de São Paulo, funcionando como barreira à Bacia de Santos (NE) e à Bacia oceânica da Argentina (SW).



- Fundo do Mar
- Topo do Mioceno Médio
- Topo do Oligoceno Inferior
- Topo do Eoceno
- Topo do Eoceno Inferior
- Topo do Cretáceo
- Topo do Albiano
- Topo do Embasamento
- Falhas

Figura 24: Seção sísmica L-042 interpretada (Dip), ainda identificando porções aflorantes da Dorsal de São Paulo.

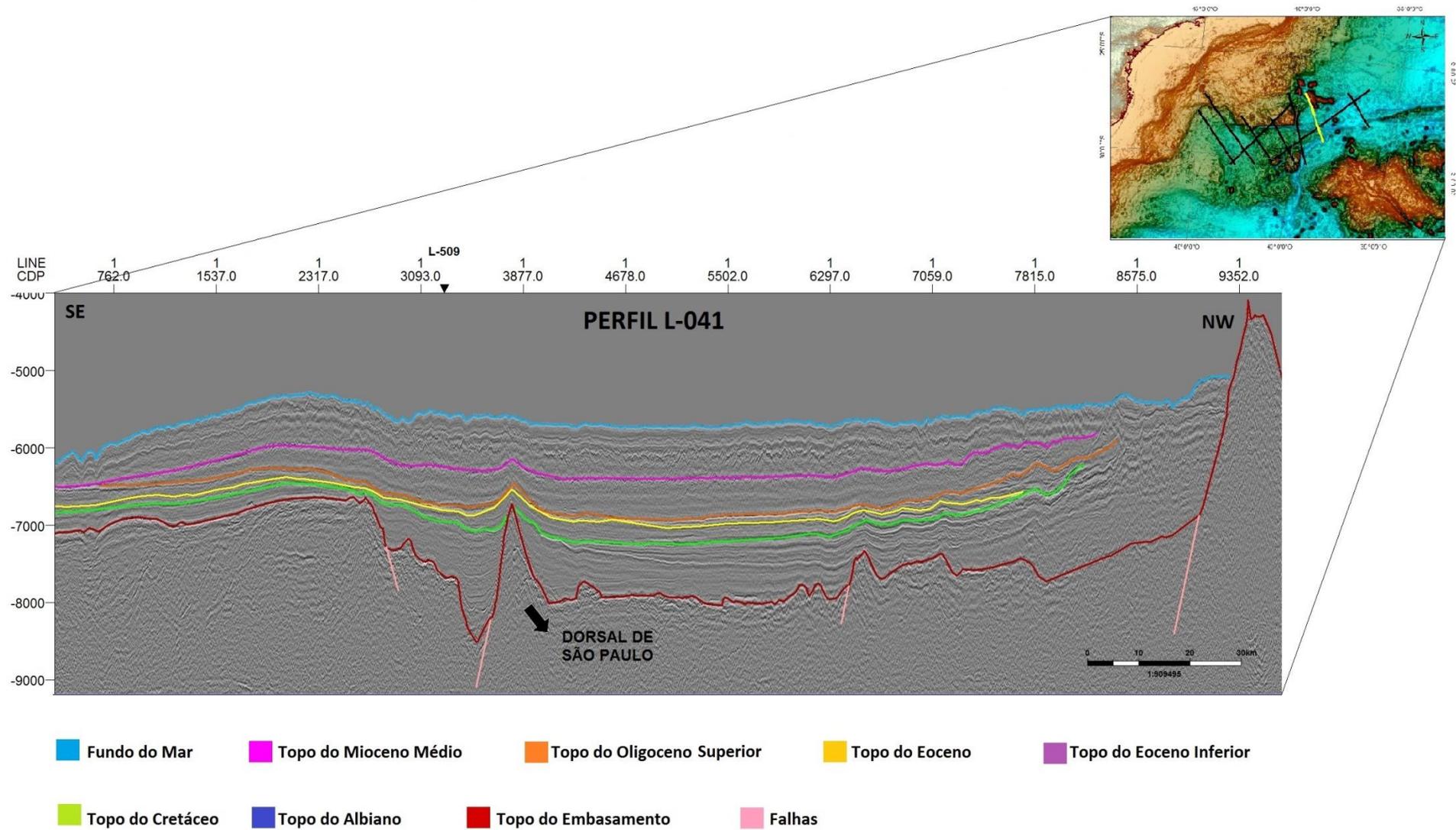


Figura 25: Seção sísmica L-041 interpretada (Dip), voltando a identificar expressões soterradas da Dorsal de São Paulo nas linhas mais a leste.

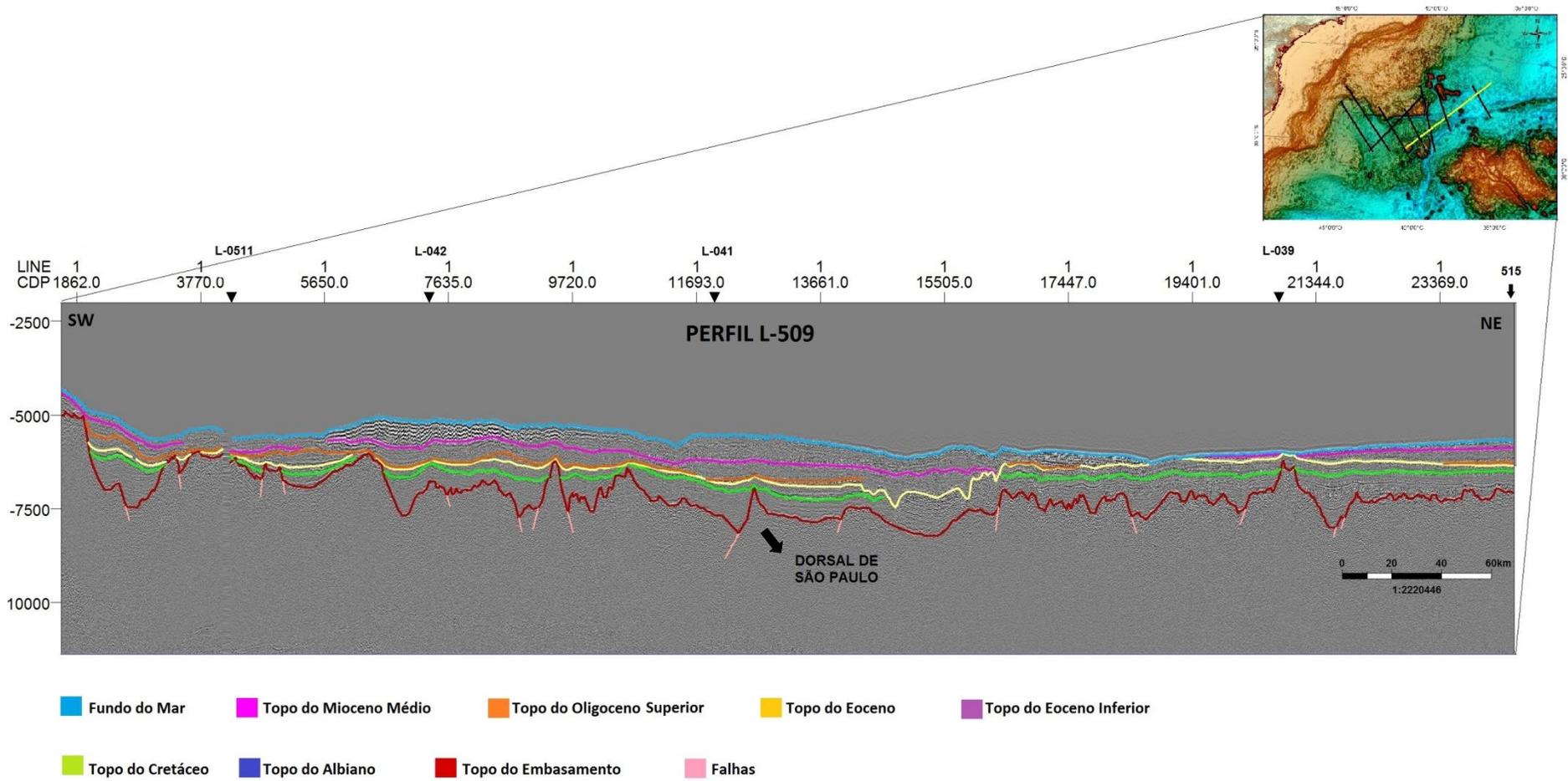
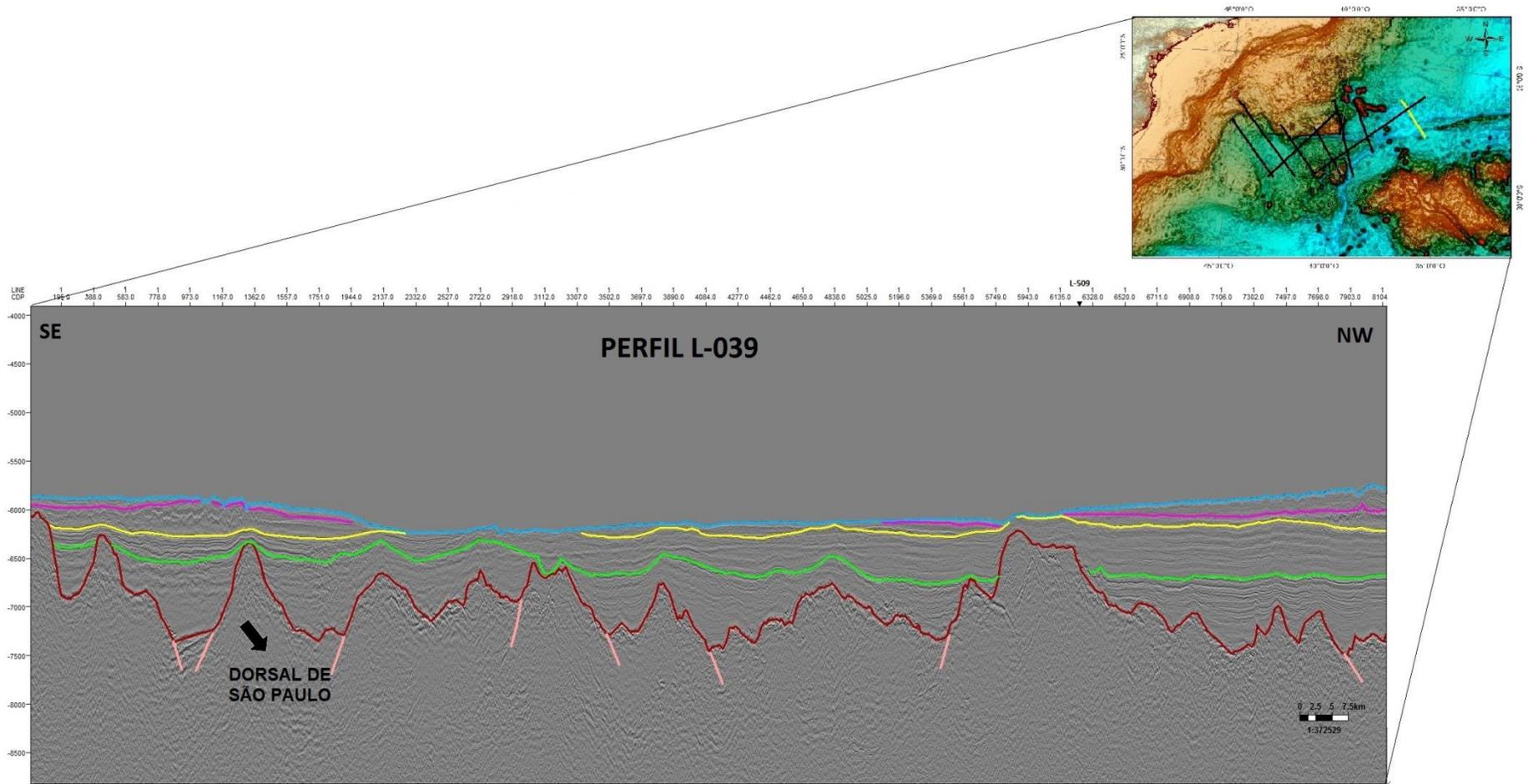


Figura 26: Seção sísmica L-509 interpretada (Strike), com identificação da porção soterrada da Dorsal de São Paulo, sendo recoberta por todos os refletores mapeados.



- Fundo do Mar
- Topo do Mioceno Médio
- Topo do Oligoceno Superior
- Topo do Eoceno
- Topo do Eoceno Inferior
- Topo do Cretáceo
- Topo do Albiano
- Topo do Embasamento
- Falhas

Figura 27: Seção sísmica L-039 interpretada (Dip), com expressão soterrada da Dorsal de São Paulo no extremo leste da área de estudo.

10. DISCUSSÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Através da batimetria, foi possível verificar que a Dorsal de São Paulo se destaca entre as longitudes $39,75^{\circ}\text{W}$ e $43,15^{\circ}\text{W}$, onde são encontradas suas porções aflorantes; se estendendo por aproximadamente 300 km à sudeste da bacia de Santos (figura 28). A partir desses limites longitudinais, a feição perde expressão topográfica, não podendo mais ser visualizada nos perfis batimétricos pela cobertura sedimentar. Mesmo assim, ainda, é possível identificar sua orientação no assoalho oceânico (E-W) pela cicatriz do canal paralelo adjacente a sua feição no lado sul (figura 28). Levando em consideração estudos feitos por Gamboa e Rabinowitz (1981) e Alves (1981), esta depressão do relevo é definida como um vale contínuo e paralelo identificado ao sul da Dorsal, denominado Canal de São Paulo.

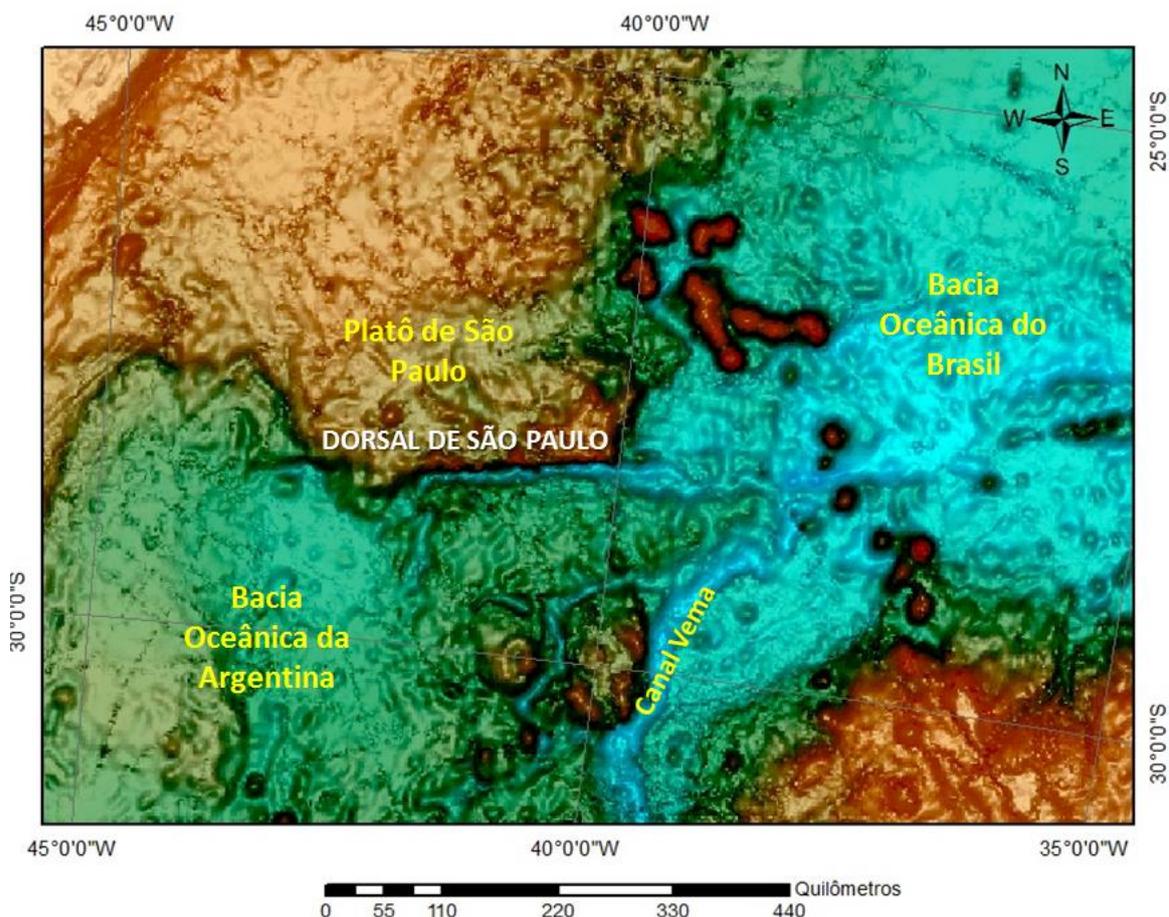


Figura 28: Mapa batimétrico com a localização da Dorsal de São Paulo e as principais feições fisiográficas limitadas por ela. Fonte: Alves *et al.*, 2011 (dados batimétricos de Smith e Sandwell, 1997).

Nos perfis batimétricos A, B, C, D e E observados no capítulo anterior (figura 18), tanto o cume da cadeia vulcânica Dorsal, quanto o vale encontram-se bem definidos, marcados por uma discrepância altimétrica máxima de 2093 m no Perfil D (figura 18).

Apesar de não se notar quaisquer mudanças significativas na batimetria a partir das longitudes 39,75°W e 43,15°W, através da sísmica de reflexão foi possível identificar o prolongamento da Dorsal de São Paulo soterrada, tanto em direção a Margem Continental Brasileira como em direção a Bacia Oceânica do Brasil. Como nas linhas sísmicas onde ela aflora (L-511, L-59A, L-42, respectivamente, Figuras 22, 23 e 24), sua fisiografia é melhor definida em comparação ao método batimétrico, já que este é limitado à morfologia do relevo oceânico, identificou-se as características morfológicas do embasamento com maior precisão, possibilitando o mapeamento de sua extensão ao longo da mesma faixa latitudinal, ainda que soterrada. Esta variação de espessura do pacote sedimentar ao longo da Dorsal pode ser verificada no mapa de isóbata total, correspondente ao mapa de espessura em tempo, na figura 29.

Conforme notado primeiramente por Kumar *et al.* (1977) e ratificado ao longo dos perfis sísmicos supracitados, o flanco sul da Dorsal de São Paulo é caracterizado por uma expressiva escarpa de falha do embasamento, que pela peculiaridade apresentada, ajudou a distinguir e mapear as expressões do embasamento relacionadas a Dorsal nas demais linhas sísmicas. Esta escarpa de falha está associada a um rebaixamento crustal, favorecendo o fluxo de água da Corrente de Fundo da Antártica (AABW) pelo Canal de São Paulo. Já o flanco norte, em sua porção aflorante, serve como barreira sedimentar a Bacia de Santos.

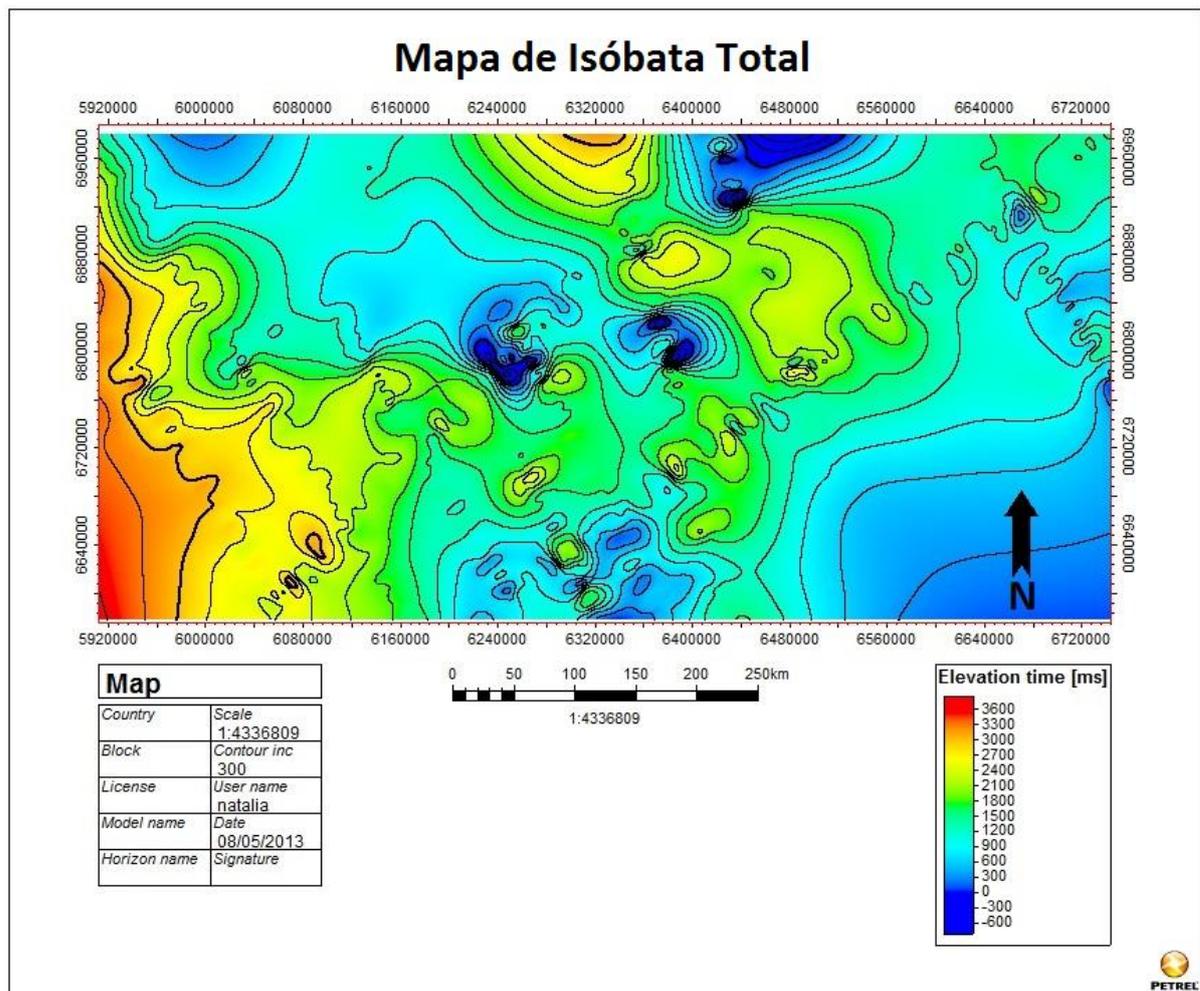


Figura 29: Mapa de Isóbata total em tempo duplo da área de estudo. As cores frias indicam menor espessura do pacote sedimentar, enquanto que as cores quentes apontam maior espessura. Na parte central do mapa são destacados dois baixos, associados às porções aflorantes da Dorsal de São Paulo com ausência de deposição sedimentar.

Seguindo estes mesmos padrões sísmicos, mapeou-se o prolongamento da Dorsal de São Paulo nas demais linhas sísmicas, onde suas expressões são encontradas soterradas (figuras 19,20,21,25,26,27). O alinhamento da feição pode ser visualizado no mapa do topo do embasamento construído, e ilustrado na figura 30. Através deste mapa constata-se que a partir das linhas onde a Dorsal de São Paulo aflora, o cume da feição perde expressão altimétrica, gradativamente, tanto para leste quanto para oeste, mantendo a orientação aproximada E-W. Este alinhamento coincide com a orientação do segmento fóssil da ZFRG (visto no tópico 3 – Contexto Morfológico), comprovando que a Dorsal de São Paulo possa ser uma expressão tectono-magmática da própria zona de fratura, o que já fora anteriormente

sugerido por Gamboa e Rabinowitz, 1981; Alves, 1981 e 2002; Fodor, 1984; Gomes *et al.*, 1993; Basseto *et al.*, 2000.

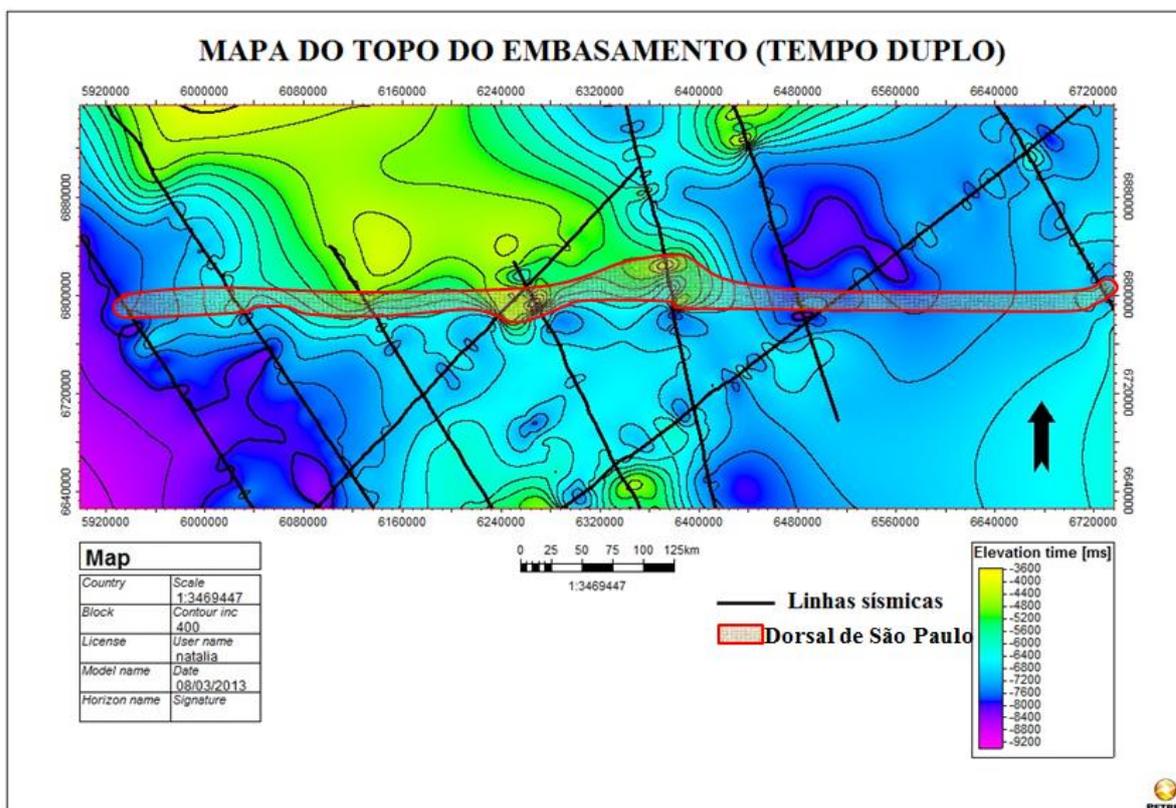


Figura 30: Mapa do topo do Embasamento com o alinhamento das expressões da Dorsal de São Paulo hachurada.

Em relação à configuração barreira exercida pela Dorsal de São Paulo, observa-se que a topografia irregular apresentada na direção E-W pode ser uma evidência morfológica que indique um vulcanismo mais expressivo em algumas regiões do que em outras, fazendo com que a feição atuasse como barreira sedimentar em tempos geológicos distintos. As linhas L-42, L-59, e L-511, mostram porções aflorantes da Dorsal que atuam como barreira sedimentar até o Recente, impedindo a passagem de sedimentos da Bacia de Santos à Bacia oceânica da Argentina.

Na sua porção mais à leste, na Bacia oceânica do Brasil, o prolongamento da Dorsal de São Paulo coincide com os prolongamentos do segmento fóssil da ZFRG para a Cordilheira Mesoatlântica. Nesta área, observa-se que a Dorsal se comportou como barreira sedimentar, pelo menos até o final do Cretáceo (Figura 25). Nas expressões de relevo da Dorsal encontradas a leste da L-041, os refletores mapeados mais recentes que o Topo do

Cretáceo sobrepõem a feição, sem indicar qualquer ação limítrofe posterior (Figura 26, L-509; e Figura 27, L-039).

Para oeste, em direção à Margem Continental Brasileira, na região da bacia oceânica da Argentina, a Dorsal de São Paulo atuou como uma barreira sedimentar até, pelo menos, o final do Oligoceno Superior (Figura 20, L-045). A figura 19 (L-046) evidencia que o segmento da Dorsal nessa porção para a margem continental apenas se configura como barreira até o Cretáceo, já que todos os refletores mapeados encontram-se sobrepostos à cadeia.

Embora o pacote evaporítico que individualiza o Platô de São Paulo não tenha sido mapeado nos perfis sísmicos, ele foi identificado na porção norte da região mapeada, na Bacia de Santos. Em direção à Dorsal, o pacote salífero afina gradativamente, não sendo mais identificado na região imediatamente à norte da feição. Gamboa e Kumar (1977) já haviam observado que o diapirismo característico do Platô de São Paulo não era notado adjacente à Dorsal. De acordo com os mesmos autores, apesar da deposição salífera ser favorecida ao longo dessas regiões mais rasas, o aporte de sedimentos da fase marinha fez com que o sal migrasse para as áreas mais profundas da bacia, o que justifica o afinamento da camada próximo a Dorsal de São Paulo.

A interpretação da sísmica de reflexão evidencia que todo o segmento da Dorsal de São Paulo sofreu reativação tectônica-magmática até pelo menos Mioceno Médio (Figura 31). Outras evidências que corroboram com esses eventos geológicos são as terminações dos refletores contra a Dorsal, em ambos os flancos da feição, indicando uma reativação associada a um soerguimento da cadeia, conforme é verificado na figura 32. Machado (2010) também observou eventos de reativação na mesma faixa latitudinal, nas áreas próximas ao Alto de Florianópolis. Na bacia rasa local, o referido autor constatou falhas do embasamento que atingiram até o Mioceno Inferior.

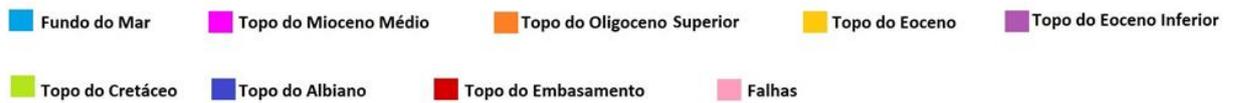
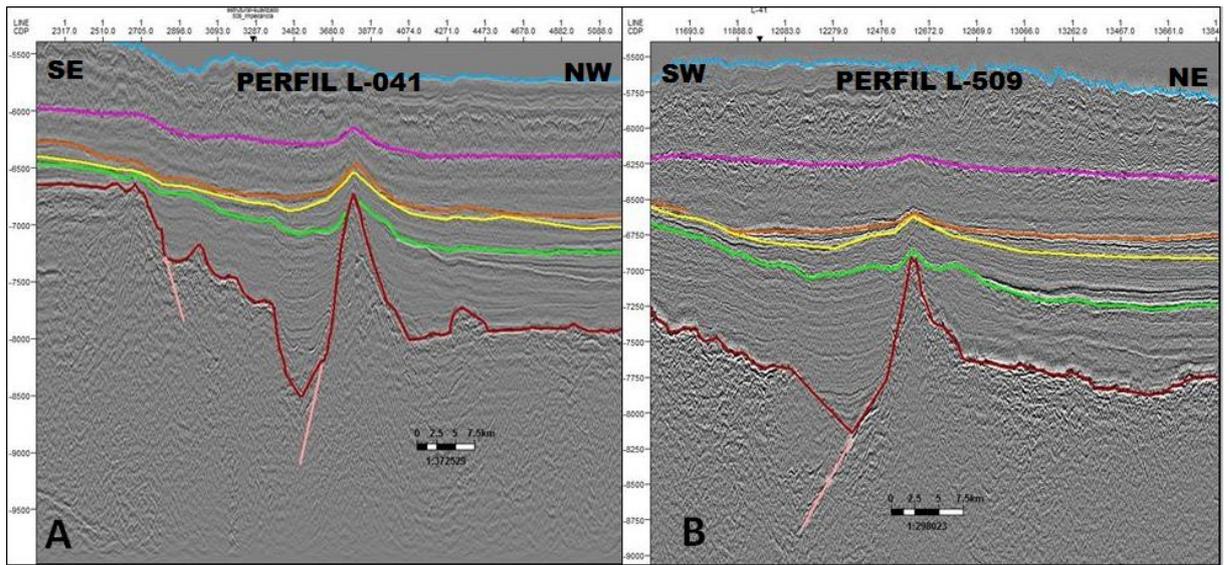


Figura 31: Evidências de reativação tectôno-magmática existentes, pelo menos, até o Mioceno Médio, ao longo das porções soterradas da Dorsal de São Paulo. Os refletores mapeados encontram-se em conformidade com o topo da feição. A) Perfil L-041. B) Perfil L-0509.

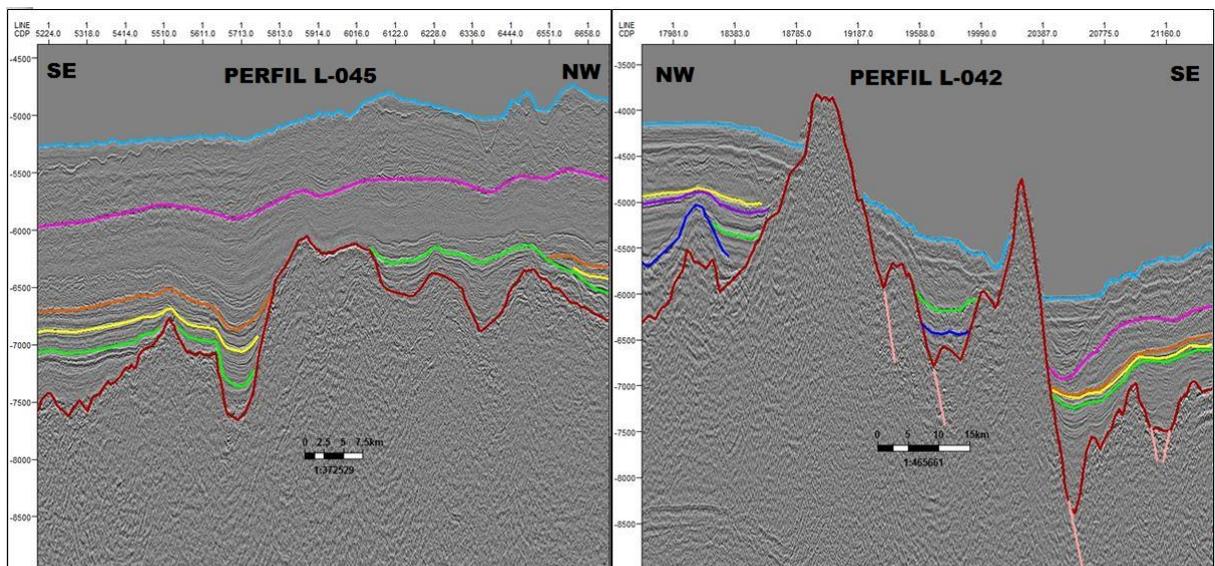


Figura 32: Evidências de reativação tectôno-magmática associada ao soergimento da Dorsal de São Paulo. A terminação dos refletores mapeados encontra-se em forma de pinch-out em direção ao topo da feição. A) Perfil L-045 B) Perfil L-042.

11. CONCLUSÃO

Considerando o objetivo principal deste projeto final, e a partir da integração do referencial teórico e dos resultados obtidos, é possível afirmar que a Dorsal de São Paulo consiste em uma cadeia vulcânica de orientação E-W, com extensão aproximada de 300 km, definindo tanto o limite sudeste da Bacia de Santos como a transição entre a crosta transicional e a crosta oceânica. Suas porções aflorantes são destacadas na morfologia do assoalho oceânico através de uma expressão topográfica significativa quando comparada com a profundidade dominante do relevo ao seu sul, alcançando discrepâncias altimétricas máximas de 2093 m.

Por meio da batimetria, constata-se que a feição é aflorante entre as longitudes 39,75°W e 43,15°W, com uma morfologia destacada pelo escarpamento do seu flanco sul seguido por um rebaixamento do relevo, onde flui o Canal de São Paulo. A partir dessas longitudes, a Dorsal de São Paulo diminui gradativamente sua evidência na fisiografia, sendo soterrada pelo pacote sedimentar tanto em direção à Margem Continental Brasileira, a oeste, quanto em direção a bacia oceânica do Brasil, a leste. Contudo, através do método sísmico de reflexão, foi possível mapear e caracterizar os prolongamentos da feição em ambas as direções.

As orientações encontradas no mapeamento sísmico das porções aflorantes e soterradas da Dorsal de São Paulo e no mapa de anomalia Ar-Livre coincidem com o alinhamento do segmento fóssil da Zona de Fratura de Rio Grande, o que reafirma a hipótese de que a Dorsal possa ser uma expressão tectono-magmática ao longo desta descontinuidade crustal.

Provavelmente, o magmatismo responsável pela formação da cadeia vulcânica apresentou-se irregular ao longo da Zona de Fratura do Rio Grande, sendo mais intenso nas porções de topografia elevada. Esta irregularidade topográfica fez com que as porções da Dorsal de São Paulo se comportassem diferentemente como barreira sedimentar ao longo do tempo geológico. Nas porções em que se encontrada aflorante, a Dorsal funciona como barreira sedimentar até o Recente, confinando a sedimentação da bacia de Santos. Nas demais regiões, tanto em direção a Margem Continental Brasileira (no domínio da Bacia oceânica da

Argentina) quanto em direção à Bacia Oceânica do Brasil, a Dorsal se comportou como barreira sedimentar em momentos geológicos distintos. Pelo menos até o Aptiano, a extensão total da Dorsal de São Paulo, bem como o Alto de Florianópolis, confinaram a deposição evaporítica as bacias sedimentares localizadas a norte.

Apesar de não ter sido constatada qualquer relação de um lineamento tectônico entre a Dorsal de São Paulo e o Alto de Florianópolis por meio dos métodos geofísicos utilizados, evidências de reativações tectono-magmáticas foram identificadas ao longo de todo o segmento mapeado da Dorsal de São Paulo, ocorrendo, pelo menos, até o Mioceno Médio. Semelhante ao que foi observado nas regiões proximais da Margem Continental Brasileira, no Alto de Florianópolis, datados até, pelo menos, o Mioceno Inferior.

12. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, E.C. 1981. Estruturas da margem continental sul brasileira e das áreas oceânicas e continentais adjacentes. In. Asmus, H.E. (editor), Estruturas e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. Rio de Janeiro, PETROBRÁS/CENPES/DINTEP, Série PROJETO REMAC, 9:145-170.
- ALVES, R. A. Estudo Sismoestratigráfico da Bacia do Brasil. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha) - UFF, 1999. 127 p.
- ALVES, E.C. 2002. Zonas de Fraturas Oceânicas e suas Relações com a Compartimentação Tectônica do Sudeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- ALVES, E. D. C.; SILVA, C. G.; REIS, A. T. D.; MELLO, S. D. M.; FERRARI, A. L.; MELO, C. L.; O-ARISTIZABAL, C. I.; MACHADO, L.; SILVA, R. M. D. Análise morfotectônica e significado estratigráfico dos altos estruturais que segmentam a margem Sul-Sudeste brasileira. Lagamar Univ. Fed. Fluminense - Repsol/Sinopec. Niterói, RJ, p. 168. 2011. Projeto de Extensão.
- AZEVEDO, R. L. M. Paleoceanografia e a evolução do Atlântico Sul no Albiano. Boletim de Geociências da PETROBRAS, Rio de Janeiro, v. 12, n. 2, p. 231-249. 2004.
- BARKER, P.F., CARLSON, R.L. & JOHNSON, D.A. 1983. Site 515: Brazil Basin. In: P.F. Barker, R.L. Carlson *et al.*, Initial reports DSDP, U.S. Govt. Printing Office, Washington D.C., v. 72, p. 53-74.
- BASSETTO, M.; ALKMIM, F.F.; SZATMARI, P.; MOHRIAK, W.U. 2000. The oceanic segment of the Southern Brazilian Margin: Morpho-structural domains and their tectonic significance. In. Mohriak, W.U. & Talwani, M. (editors). Atlantic Rifts and Continental Margins. Geophysical Monograph Series, American Geophysical Union, 115, p.235-259.
- CATUNEANU, O. 2006. Principles of sequence stratigraphy. Amsterdam, Elsevier. Cap IV, p 105-163.
- CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F.; BENDER, A.A. 1992. Tectonics and stratigraphy of the east Brazil rift system: an overview, Tectonophysics,

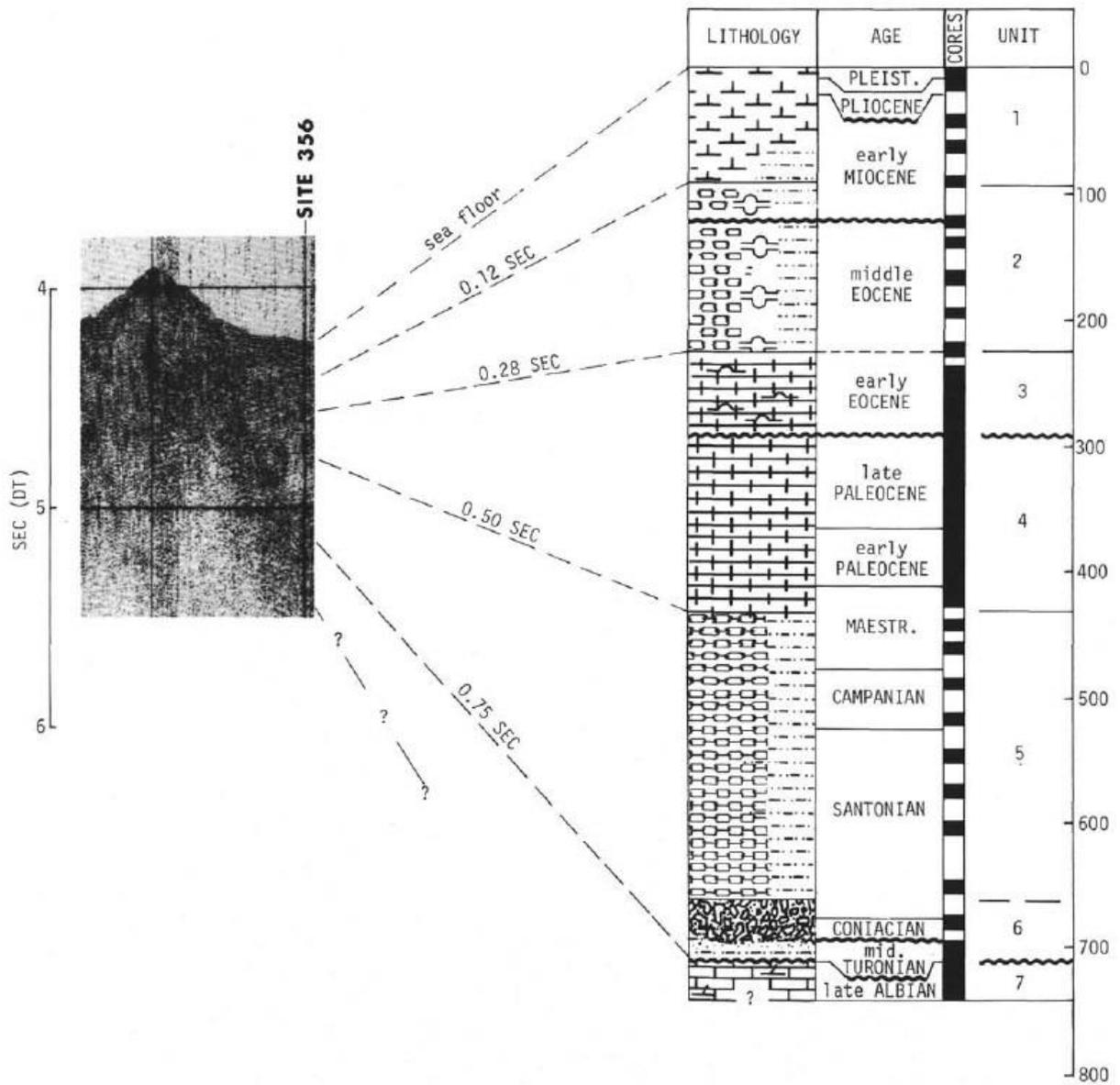
- 213:97-138. Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos.
- CHANG, H. K.; ASSINE, M. L.; CORRÊA, F.S.; TINEN, J.S.; VIDAL, A.C.; KOIKE, L.;
Sistemas petrolíferos e modelos de acumulação de hidrocarbonetos na Bacia de Santos.
Revista Brasileira de Geofísica. 38(2 - suplemento): p: 29-46, 2008.
- DIAS, J. L. Tectônica, estratigrafia e sedimentação no Andar Aptiano da margem leste brasileira. Boletim de Geociências da Petrobras, Rio de Janeiro, v.13, n.1, p. 7-25, 2005.
- FODOR R. V., KUMAR N., BORNHORST T. J., HUSLER J. W., 1980. Petrology basaltic rocks from the Sao Paulo ridge, South western Atlantic Ocean, Mar. Geol., p: 127-141.
- FONTANA, R.L. 1996. Geotectônica e Sismoestratigrafia da Bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis. Tese de Doutorado. UFRGS. Porto Alegre, RS. 214p.
- GAMBOA, L. A. P.; KUMAR, N. 1977. Synthesis of the geological and geophysical data in a square area around site 356. Leg 39 DSPG. In: DEEP SEA DRILLING PROJECT. Initial Reports. Lamont-Doherty Geological Observatory of Columbia University, Palisades, New York La Jolla, Univ. of California, Scripps Institution of Oceanography, Leg 39, p. 947-954.
- GAMBOA, L.A.P. & RABINOWITZ, P.D. 1981. The Rio Grande Fracture Zone in the western South Atlantic and its tectonic implications. Earth and Planetary Science Letters, Amsterdam, 52: 410-418.
- GAMBOA, L. A. P.; MACHADO, M. A. P; SILVEIRA, D. P.; FREITAS, J. T. R. E SILVA, S. R. P. 2008. Evaporitos estratificados no Atlântico Sul. In: Mohriak, W., Szatmari, P. e Anjos, S. M. C. (eds). Sal- Geologia e Tectônica: exemplos de bacias brasileiras. Petrobras, p. 340-359.
- GOMES, P. O.; Severino, M. C. G. e Gomes, B. S., 1993. Projeto LEPLAC: Interpretação Integrada dos Dados Geofísicos do Prospecto LEPLAC-IV - Margem Continental Sul Brasileira. In: 3º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica (3º CISBGf). Rio de Janeiro - RJ, 1993. **Anais**. Rio de Janeiro - RJ, SBGf, 1993, Vol. 2, pp. 1275 - 1280.

- GOMES, P.O., J. PARRY, e W. MARTINS, 2002. The Outer High of the Santos Basin, Southern São Paulo Plateau, Brazil: Tectonic Setting, Relation to Volcanic Events and Some Comments on Hydrocarbon Potential, AAPG, Hedberg Conference “Hydrocarbon Habitat of Volcanic Rifted Passive Margins”, Search and Discovery Article #90022.
- GONÇALVES, A.; OLIVEIRA, M.A.M.; MOTTA, S.O. Geologia da bacia de Pelotas e Plataforma de Florianópolis. Boletim técnico da Petrobrás, Rio de Janeiro, 22 (3): 157-174, jul./set. 1979.
- KARNER, D., Rifts of the Campos and Santos Basins, Southeastern Brazil: Distribution and Timing. In: M. R. Mello and B. J. Katz (eds.), Petroleum systems of South Atlantic margins. AAPG Memoir 73, Tulsa, p. 301-315, 2000.
- KUMAR, N., GAMBOA, L. A. P., SCHREIBER, B. C, MASCLE, J., 1977. Geological history and origin of Sao Paulo Plateau (southeastern Brazilian margin), comparison with the Angolan margin, and the early evolution of the northern South Atlantic. In Supko, P. R., Perch-Nielsen, K., et al., Init. Repts. DSDP, 39: Washington (U.S. Govt. Printing Office), p: 927-945.
- KUMAR, N.; GAMBOA, L.A.P. 1979. Evolution of the São Paulo Plateau and implications for the early history of the South Atlantic. Geological Society America Bulletin, part 1, v. 90, p. 281-293.
- LE PICHON, X.; Ewing, M. & Truchan, M. (1971). Sediment transport and distribution in the Argentine Basin. Antarctic bottom current passage into the Brazil Basin. In: Ahrens, L.H. *et al.* (eds.). Physics and Chemistry of the Earth. New York, Pergamon Press, v.8, p. 31-48.
- MACEDO, J.M. 1989. Evolução tectônica da Bacia de Santos e áreas continentais adjacentes, Boletim Geociências da Petrobrás, 3(3):159-173.
- MACHADO, L. G. Evolução Morfo-Tectônica do Alto de Florianópolis que segmenta as Bacias de Santos e Pelotas, Margem Sudeste da Costa Brasileira, 2010, Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense, Niterói – RJ. 125f.

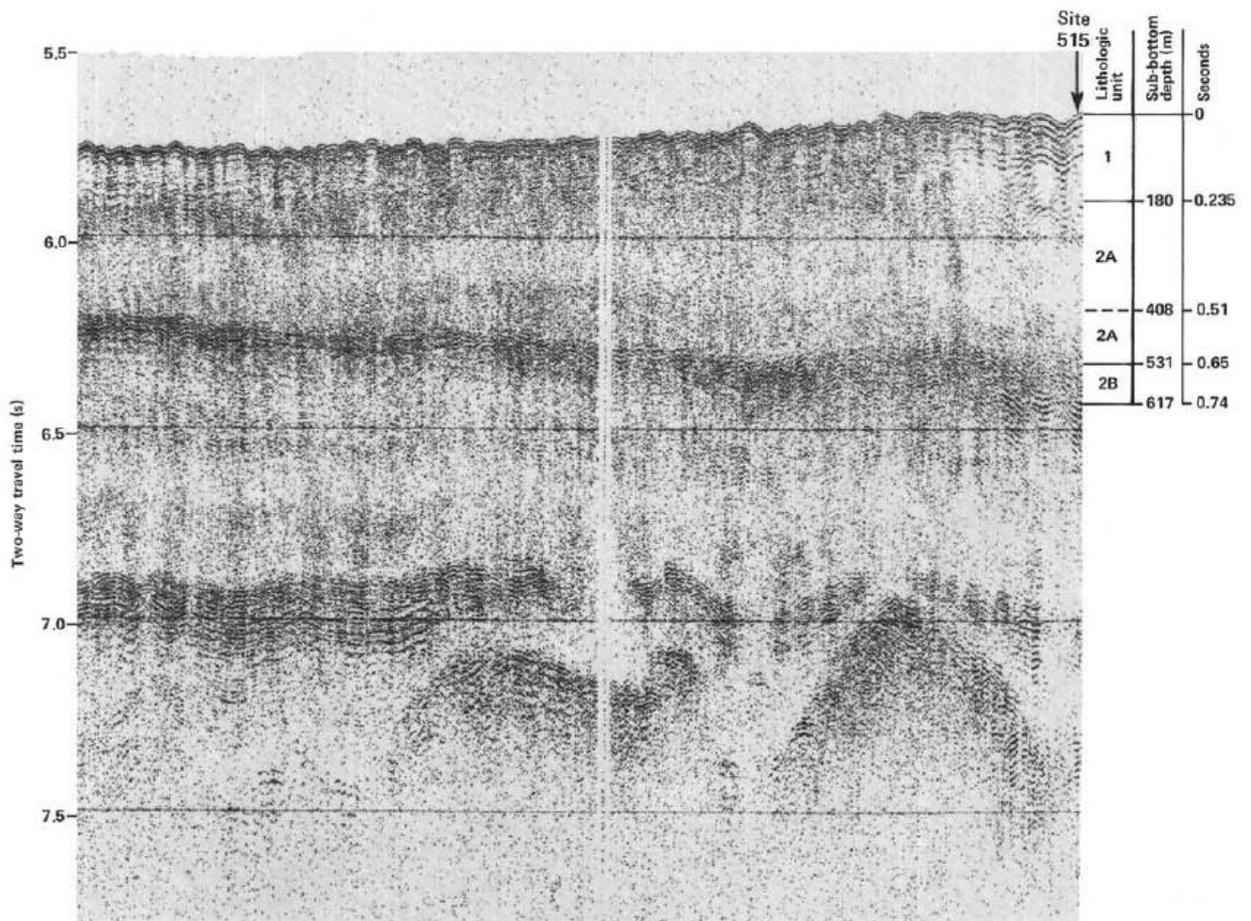
- MEISLING, K. E., Cobbold, P. R., and Mount, V. S., Segmentation of an obliquely rifted margin, Campos and Santos basins, southeastern Brazil. *AAPG Bull.*, v. 85, no. 11, p. 1903-1924, 2001.
- MENDONÇA, A. M. Arcabouço Estratigráfico e Arquitetura Depositional dos Sistemas Sedimentares Plataformais ao Largo do Estado do Ceará – Bacia do Ceará. 2012. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Fluminense. Niterói-RJ. P: 17-22.
- MOHRIAK, W. U. 2003. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., VIDOTTI, R.M. & GONÇALVES, J.H. (eds) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, São Paulo, Capítulo III, p: 87-165.
- MOHRIAK, W. U.; NOBREGA, M.; ODEGARD, M. E.; GOMES, B. S.; DICKSON, W. G. (2010): Geological and geophysical interpretation of the Rio Grande Rise, south-eastern Brazilian margin; extensional tectonics and rifting of continental and oceanic crusts. Geological Society Publishing House for EAGE (European Association of Geoscientists & Engineers), London, United Kingdom, In: Fraser, Scot I. (editor), Lentini, Michael R. (editor), Fraser, Alastair J. (editor), *Stretching the crust and extending exploration frontiers*, p: 231-245.
- NUNES, M.V; VIVIERS, M.; LANA, C. C. Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia de Santos. *Fundação Paleontológica Phoenix*, Aracaju- SE, nº 66, p 1-6, 2004.
- OJEDA, H.A.O. 1982. Structural framework, stratigraphy, and evolution of Brazilian marginal basins. *American Association Petroleum Geology Bulletin*, 66(6):732- 749.
- OLIVEIRA, E. A. OLIVEIRA, M. P. SÁ, R. M. Introdução ao Estudo da Margem Continental Brasileira. In: IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica, 2009. Belém – PA.
- PERCH-NIELSEN, K.; SUPKO, P.R.; BOERSMA, A.;CARLSON, R.L.; DINKELMAN, M.G.; FODOR, R.V., KUMAR, N. McCOY, F.; THIEDE, J.; ZIMMERMAN, H.B. Site 356: São Paulo Plateau South Atlantic, DSDP Leg 39. *Initial Reports of the DSDP*, v. 39, p. 141-229, 1977.

- PEREIRA, F.C. Depósitos de deriva sedimentar: principal elemento arquitetural na estratigrafia da seção cenozoica da Bacia de Pelotas, margem sul brasileira, 2010, Dissertação de Mestrado- Universidade Federal Fluminense, Niteró-RJ, 186f.
- PEREIRA, M.J. & MACEDO, J.M. 1990. A Bacia de Santos: perspectivas de uma nova província petrolífera na Plataforma Continental Sudeste Brasileira. Boletim de Geociências da Petrobrás, 4(1):3-11.
- PONTE, F.C. & ASMUS, H.E. 1976. The Brazilian Marginal Basins: Current state of knowledge. Anais da Academia Brasileira de Ciências, 48:215-239.
- SCHANZEMBACH, A. Análise dos processos sedimentares de mar profundo e aracterização dos depósitos no Canal Vema, 2010. Monografia – Universidade Federal Fluminense, Niteroi, RJ. 84f.
- SILVEIRA, D. P.; MACHADO, M. A. P. Bacias Sedimentares Brasileiras: Bacia de Pelotas. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix, 2004. (Séries Bacias Sedimentares, ano 6, n. 67).
- SMITH, W.H.F. & SANDWELL, D.T. 1994. Bathymetric prediction from dense satellite altimetry and sparse shipboard bathymetry. Journal Geophysical Research, 99:21.803-21.824.
- SMITH, W. H. F.; SANDWELL, D. T. Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. **Science**, v. 277, p. 1957-1962, 1997. Disponível na internet em http://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi.
- THIEDE, J. 1977. Subsidence of aseismic riges: evidence from sediments on Rio Grande Rise (Southwest Atlantic Ocean). American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 61(6):929-940.
- VAIL, P.R., MITCHUM Jr., R.M., THOMPSON III, S., 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 2: The depositional Sequence as a Basic Unit for Stratigraphic Analysis. In: Payton, C.E. (Ed.), Seismic Stratigraphy — Applications to Hydrocarbon Exploration. Memoir, vol.26. American Association of Petroleum Geologists, pp. 53–62.
- ZALÁN, P.V. & OLIVEIRA J.A.B. 2005. Origem e evolução estrutural do Sistema de Riftes Cenozóicos do Sudeste do Brasil. B. Geoci. Petrobras, v.13, n.2, RJ, p: 269-300.

13. ANEXOS



Anexo A: Correlação do perfil sísmico monocanal à seção litoestratigráfica obtida pelo testemunho do furo 356. Fonte: Nielsen *et al.* (1977)



Anexo B: Correlação do perfil sísmico monocanal à seção litoestratigráfica obtida pelo testemunho do furo 515. Fonte: Barker *et al.* (1983).