

5 DADOS SELECIONADOS

De acordo com a resolução da ANP, os projetos de mestrado têm um número limitado de dados que podem ser pedidos e disponibilizados, o que não muito se diferencia em áreas de novas fronteiras, que usualmente apresentam pouca quantidade de dados disponíveis. Os dados selecionados foram filtrados após todo o processo de revisão sobre a escolha dos métodos geofísicos aplicados para estudos crustais e sobre a evolução da Bacia de Santos, anteriormente descritos, para que a escolha dos dados e da área que será estudada seja com o maior ganho de informação possível.

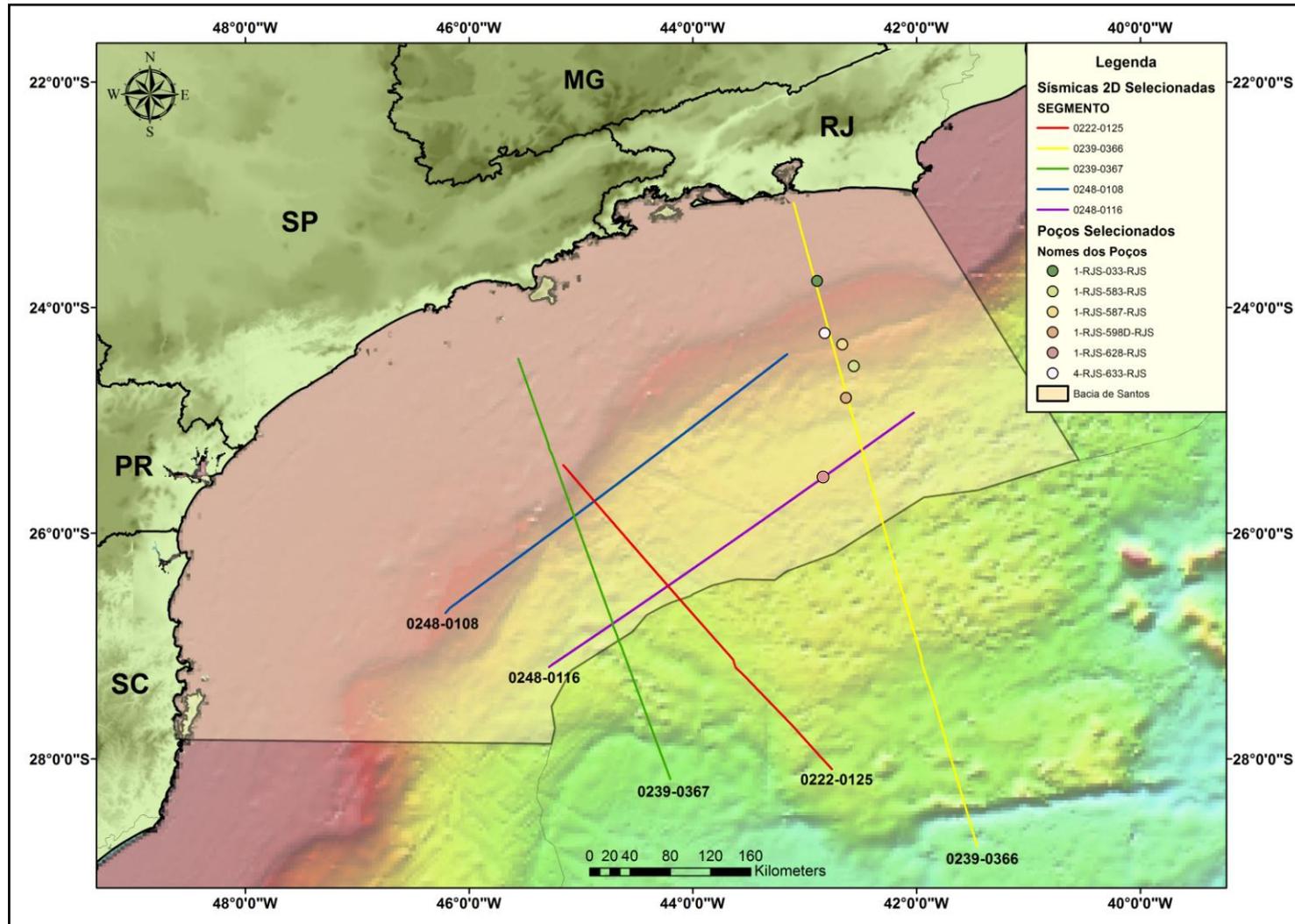
Dados Sísmicos: Composto por três grandes linhas dip que atravessam a Bacia de Santos, desde o domínio de águas rasas, até as águas profundas (Oeste-Leste), apresentando offsets médios a longos, de forma a retratar as características da bacia nas porções norte, central e sul. Após a escolha destas, linhas perpendiculares (strike) foram escolhidas, para o entendimento lateral (Norte-Sul) da bacia, tanto em domínio raso, quanto profundo.

Dados de Poços: Teriam que estar localizados sobre ou próximos às linhas sísmicas principais. Estes por sua vez, teriam que apresentar profundidades significativas e que no mínimo atravessassem a fase pós-rifte e posteriormente atingissem o pré-sal. Além disso, é de suma importância saber o conjunto de métodos de perfilagem que foram utilizados em cada poço, já que os mesmos irão trazer importantes informações para a interpretação sísmica e parâmetros de entrada na modelagem gravimétrica.

Dados Gravimétricos: Igualmente aos dados de poço, os dados gravimétricos teriam que estar localizados sobre a região das linhas sísmicas selecionadas, tendo que apresentar um caráter regional, sendo a influência da seção sedimentar percebida, mas que não mascarasse totalmente as estruturas subjacentes. Para tal, foi escolhido o uso de dados provenientes de satélites para geração de mapas e perfis regionais, mas, contudo, levantamentos realizados por navios, também podem ser utilizados, pois apresentam uma melhor resolução local e ideal para a modelagem.

Então, com base em todos os pontos referidos anteriormente, segue abaixo a lista dos dados selecionados e o mapa gerado com os mesmos (Figura 29).

Figura 29 - Mapa com a localização de todos os dados selecionados para o projeto



Fonte: Autor

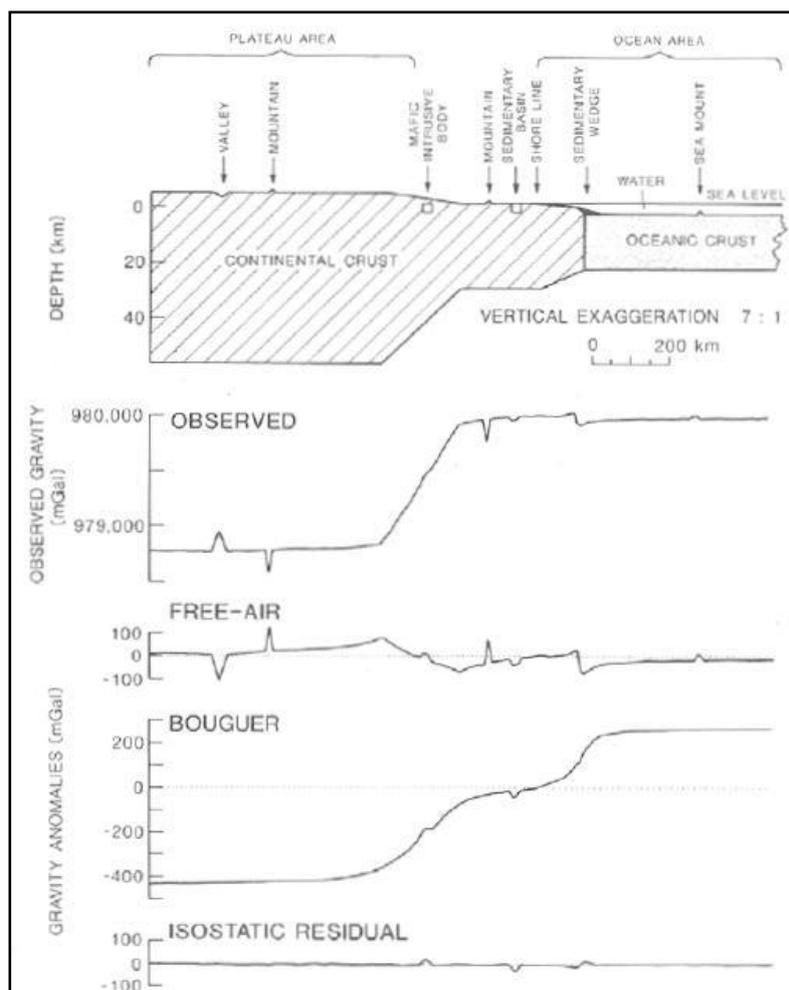
6 DISCUSSÕES DOS DADOS

Seguindo a metodologia proposta, esse tópico irá focar na parte técnica do projeto, explicando os processos de tratamentos de dados aplicados ao conjunto de dados selecionados e conseqüentemente a interpretação realizada sobre os mesmos.

6.1 Avaliações do Mapa Gravimétrico Regional

Igualmente a geologia regional, a análise gravimétrica deve ser realizada a partir de uma escala regional para uma local, na qual a avaliação de um mapa regional da bacia de Santos se torna necessário para interpretar as principais feições geológicas que produzem respostas significativas e de suma importância para exploração de petróleo.

Figura 30 - Gravidade observada e anomalias Free-air, Bouguer e isostática residual para um modelo de transição área continental e oceânica realçando a equivalência das anomalias Free-air e Bouguer em áreas oceânicas.



Fonte: De Mio, 2005

Para o projeto, foram utilizados dados e mapas provenientes de anomalia free-air, pois a mesma se equivale à anomalia Bouguer em área oceânica (Figura 30), já que a superfície topográfica está, neste caso, no mesmo nível do mar e que coincidente de forma geral com a superfície do geoide (DE MIO, 2005). Mapas Bouguer podem ser utilizados em áreas na qual a massa d'água é compensada com a batimetria, mas se aconselha a utilização de dados free-air quando a uma baixa resolução de dados.

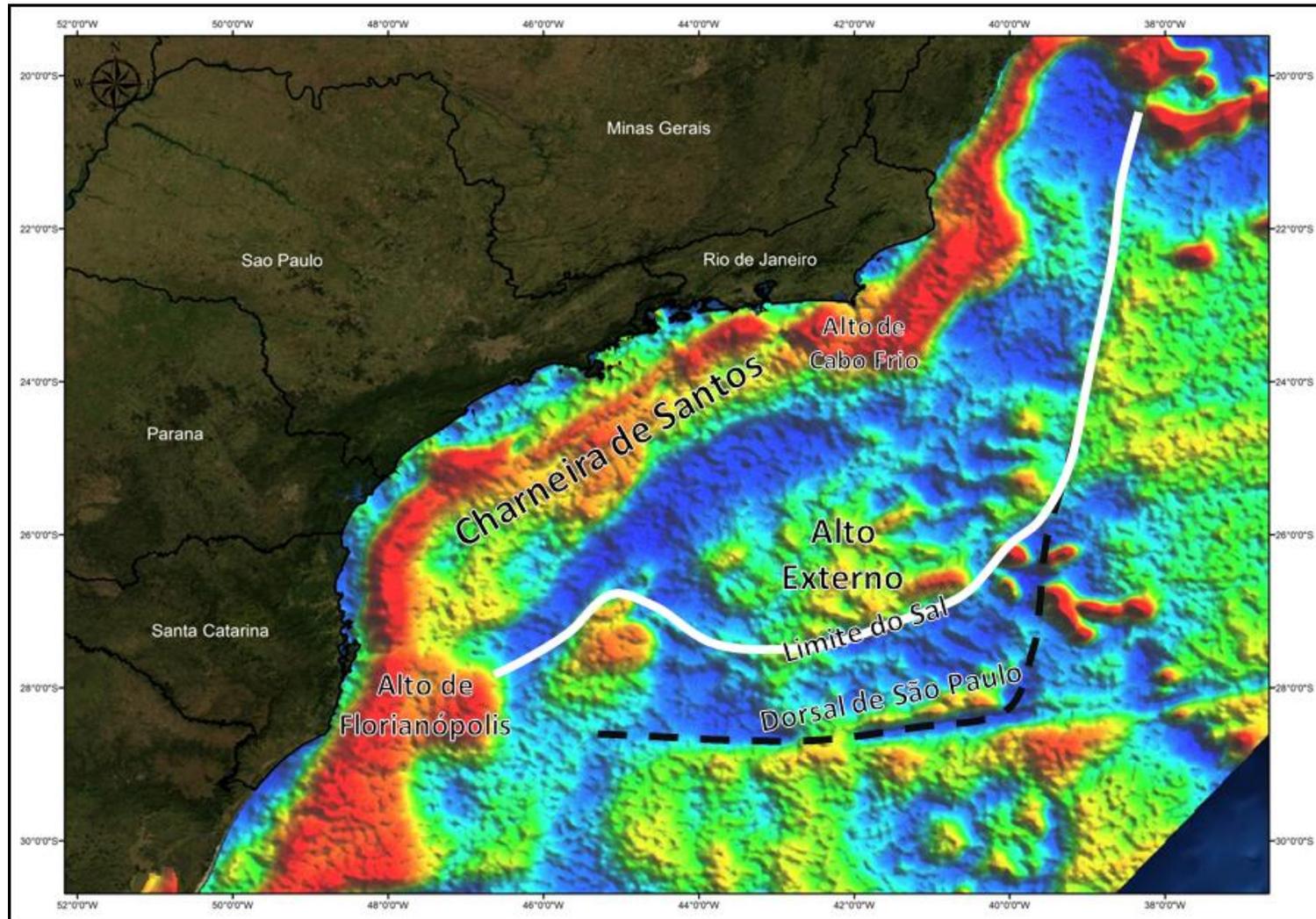
Sendo assim, foi feito o download do banco de dados público Sandwell, D. T., and W. H. F. Smith (2009), adquiridos pelo satellites Geosat e ERS-1 altimetry. Sendo assim, toda a base de dados foi gridada utilizando o software Oasis Montaj, gerando assim o mapa base de anomalia free-air do projeto.

Um fato relevante é que os mapas gravimétricos free-air provenientes de satellite apresentam menor resolução espacial, medidas realizadas a cada 1° (110 km) aproximadamente (depende do satélite) e em altitudes superiores a 35.000m, enquanto os dados adquiridos em campanhas aerogravimétrica ou por navio apresentam dados a cada 10' (10 km), sendo previamente reduzido das principais correções gravimétricas. Como consequência, os dados provenientes de satélites registram, em sua grande maioria, grandes comprimentos de onda associados a grandes anomalias regionais.

Como o objetivo do trabalho é analisar em escala regional a bacia, optou-se pela análise de dados gravimétricos provenientes de campanha de satélites para extrair os valores free-air sobre as linhas sísmicas selecionadas, devido à ausência dados provientes de navio e/ou aerolevantamento, fato necessário para a geração dos modelos gravimétricos.

Analisando o mapa de anomalia gravimétrica free-air derivados de satélite (Figura 31), notam-se variações significativas de densidade, associadas a mudanças de litologia e espessura das rochas do embasamento, no qual podem ser observadas quatro faixas principais de variações da anomalia gravimétrica em sentido ao mar, alternando entre baixos e altos gravimétricos, tal como descrito em Gamboa et al. (2008). Essas faixas foram comparadas através de um *cross-plot* com a batimetria sobre a linha sísmica 0239-366 (Figura 32).

Figura 31 - Mapa de anomalia gravimétrica ar-livre evidenciando as principais feições da bacia de Santos



Fonte: Autor

A primeira faixa (F1) corresponde à linha da charneira de Santos marcada por um alto gravimétrico que acompanha a linha de costa associado a uma elevação da Moho. Próximo à costa, anterior a linha de chaneira, é possível observar uma estreita faixa de baixos valores associada por alguns autores como uma zona de acúmulo de sedimentos em grábens internos à charneira (Figura 31/32).

Após a linha da Chaneira de Santos, já em região dominada morfológicamente pelo Platô de São Paulo, ocorre uma segunda faixa (F2) larga com baixos gravimétricos de amplitude semelhante à primeira faixa, associada com os grandes depocentros da bacia. Essa extensa faixa estende-se do litoral do Paraná até o litoral do Rio de Janeiro (Figura 31/32).

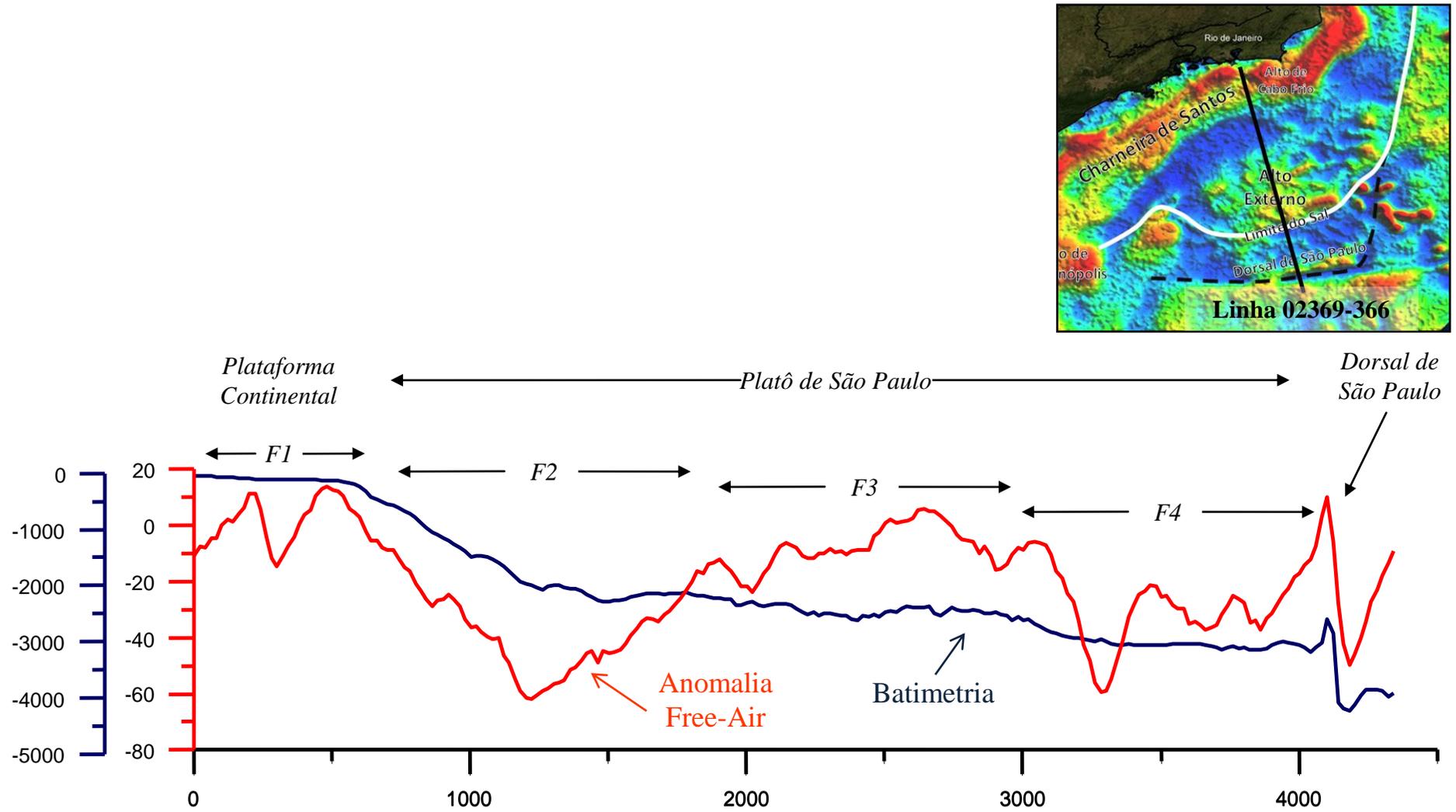
De frente ao litoral de São Paulo Gamboa et al. (2008) associa uma zona de altos gravimétricos localizados com altos estruturais externos que se estendem até o limite evaporítico offshore e correspondente a terceira faixa (F3). Respostas de mesmas amplitudes são observadas no limite sul e norte da bacia e corresponde ao Alto de Florianópolis e Alto de Cabo Frio respectivamente sendo ambos já mapeados e conhecidos. Após é retomado um ambiente de baixo gravimétrico (Figura 31/32).

A quarta e última faixa (F4) corresponde novamente a uma região de altos gravimétrica na região da Dorsal de São Paulo, em domínios de águas ultra profunda e fora do limite da Bacia de Santos. Esse aumento está, provavelmente, relacionado à elevação da “Moho” em zona controlada por crosta de natureza oceânica (Figura 31/32).

No geral, foram constatadas quatro faixas que estão dispostas desde área limite da plataforma continental, ou Charneira de Santos, relacionada ao um alto, a duas zonas de baixo localizadas na área do platô de São Paulo intercaladas por um alto referente aos altos externos, e um alto na área da Dorsal de São Paulo. Todavia, menores variações são detectadas ao longo do perfil sendo interpretando em alguns pontos como sucessões de altos e baixos do embasamento e variações na espessura dos sedimentos evaporíticos, através de informações apriori.

É válido comentar a alta correlação da anomalia com o relevo do embasamento após o termino dos domos de sal, porém é difícil inferir a natureza dessa crosta somente pela análise desses dados.

Figura 32 - Esquema representativo das faixas gravimétricas ao longo de um perfil sobre a linha sísmica 0239-366.



Fonte: Autor

6.2 Interpretações dos dados sísmicos

Essa etapa tem como objetivo a interpretação sismoestratigrafia da coluna sedimentar depositada durante a evolução da bacia de Santos nas linhas sísmica do projeto (Figura 33), porém se limitando os principais topos e bases das fases Rifte, Transicional e Pós-Rifte, que em outras palavras se dá pelo mapeamento do embasamento econômico, base do sal, topo do sal e fundo marinho.

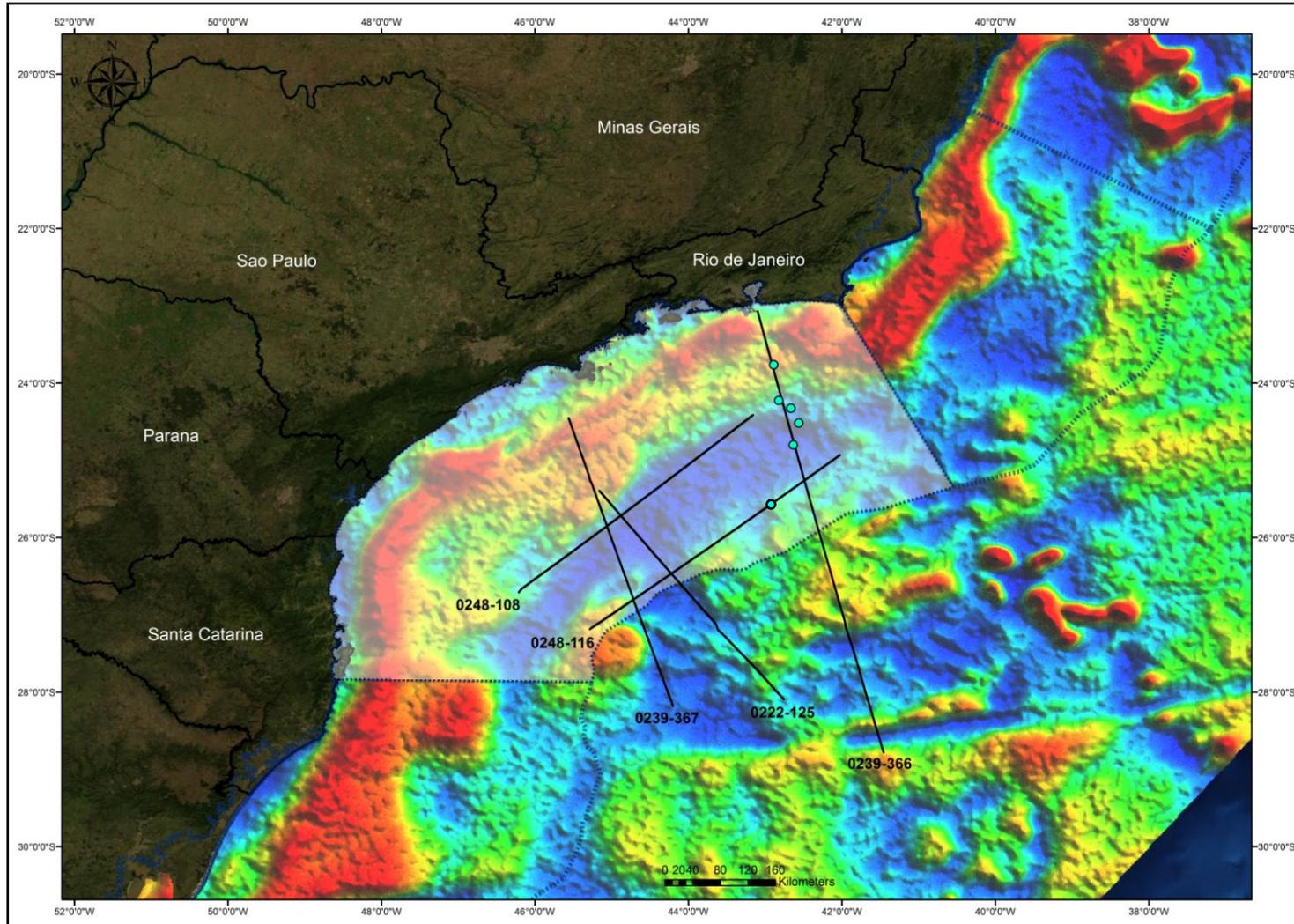
Para tal, foi utilizado o software de interpretação sísmica e de modelagem potencial Fugro LCT, que apresenta uma interface totalmente dedicada a interpretação de horizontes sísmicos. Todavia, a inclusão de poços e sistemas de falhas não se faz de maneira simples, sendo para fins desse trabalho descartados.

Voltando para as análises e interpretações sísmicas, a utilização dos conceitos teóricos da sismoestratigrafia encontradas em importantes bibliografias, além da utilização de informações bibliográficas diretamente ligadas a Bacia de Santos são essenciais para o entendimento e mapeamento dos horizontes, onde em alguns casos são próprios da bacia.

A utilização dos dados de poços exploratórios presentes (Figura 33), sobre a linha sísmica 0239-366, referenciados anteriormente, é de suma importância dentro do projeto para que possam ser feitas comparações quanto aos topos e limites das principais seqüências sísmicas e inferências sobre as idades e características físicas das mesmas.

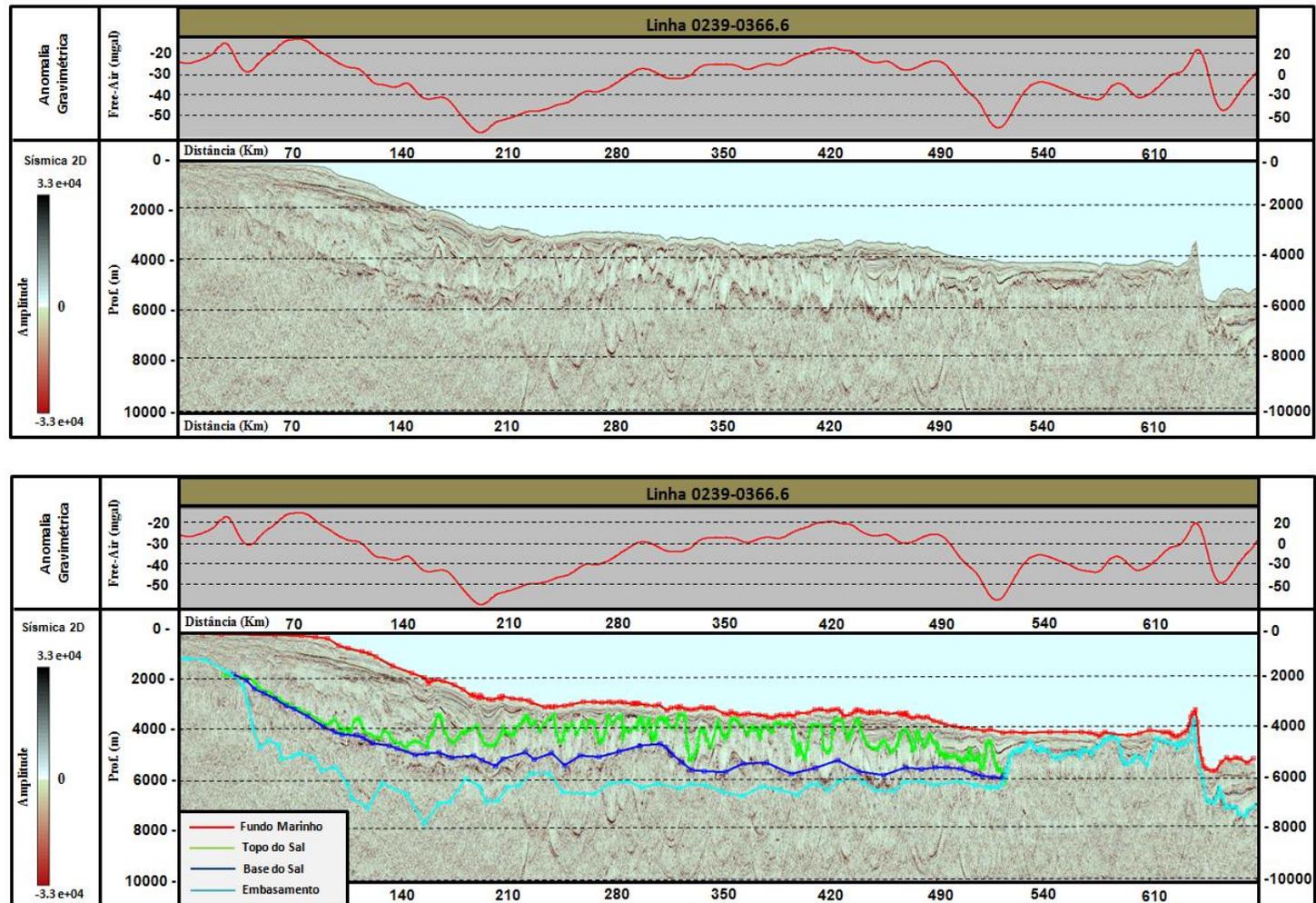
Sendo assim, a seguir as linhas sísmicas originais reprocessadas em profundidade e interpretadas, no qual pontos relevantes devem ser discutidos sobre as informações contidas e interpretadas em ambas às linhas. É válido ressaltar que juntamente as linhas, encontram-se os perfis gravimétricos free-air extraídos sobre as mesmas, com a indicação das faixas gravimétricas anteriormente mencionadas.

Figura 33 - Mapa de anomalia gravimétrica ar-livre evidenciando as principais feições da bacia de Santos com a localização das linhas sísmicas do projeto.



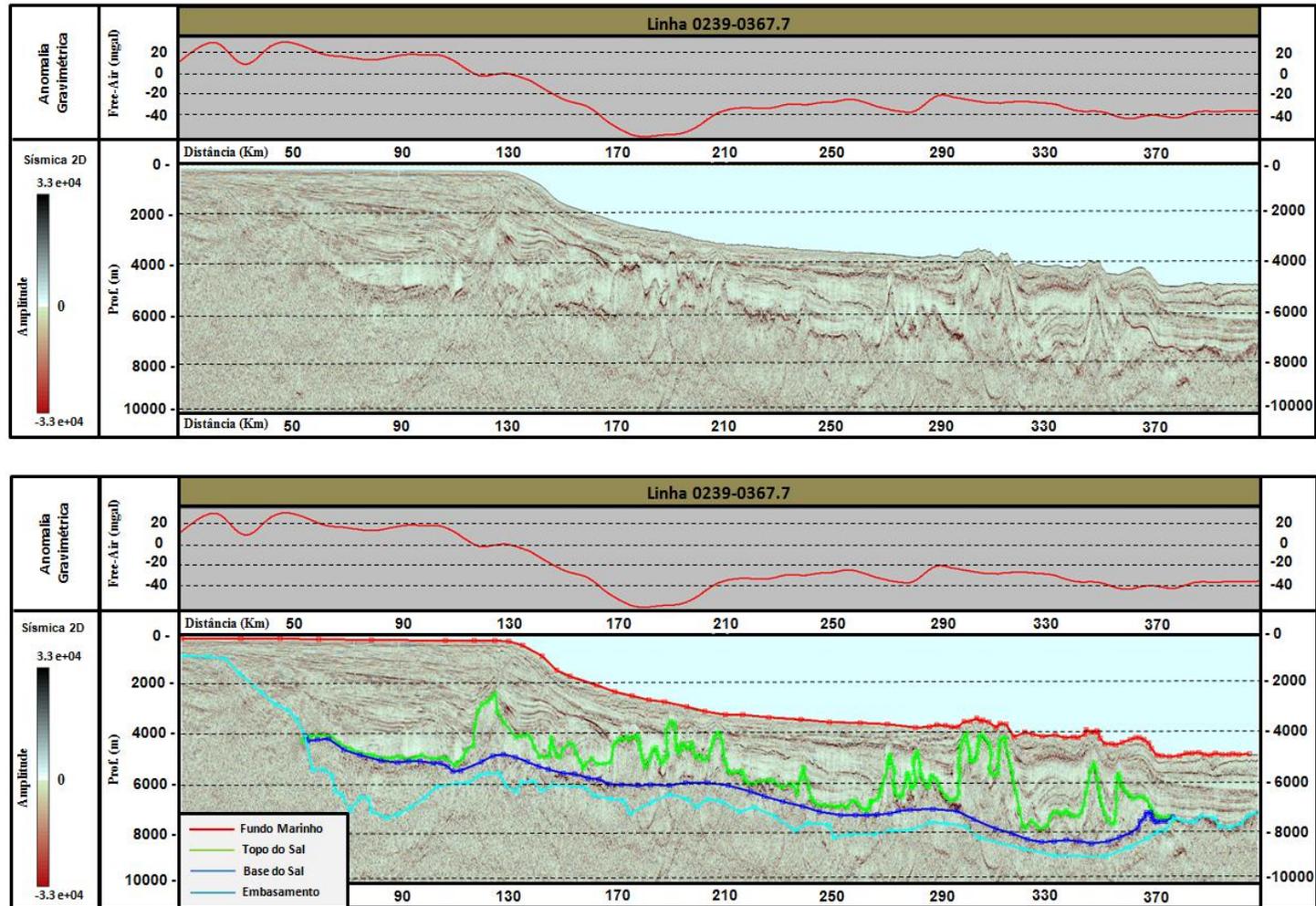
Fonte: Autor

Figura 34 - Linha sísmica 0239-0366 juntamente com sua interpretação e perfil gravimétrico Free-Air sobre a linha.



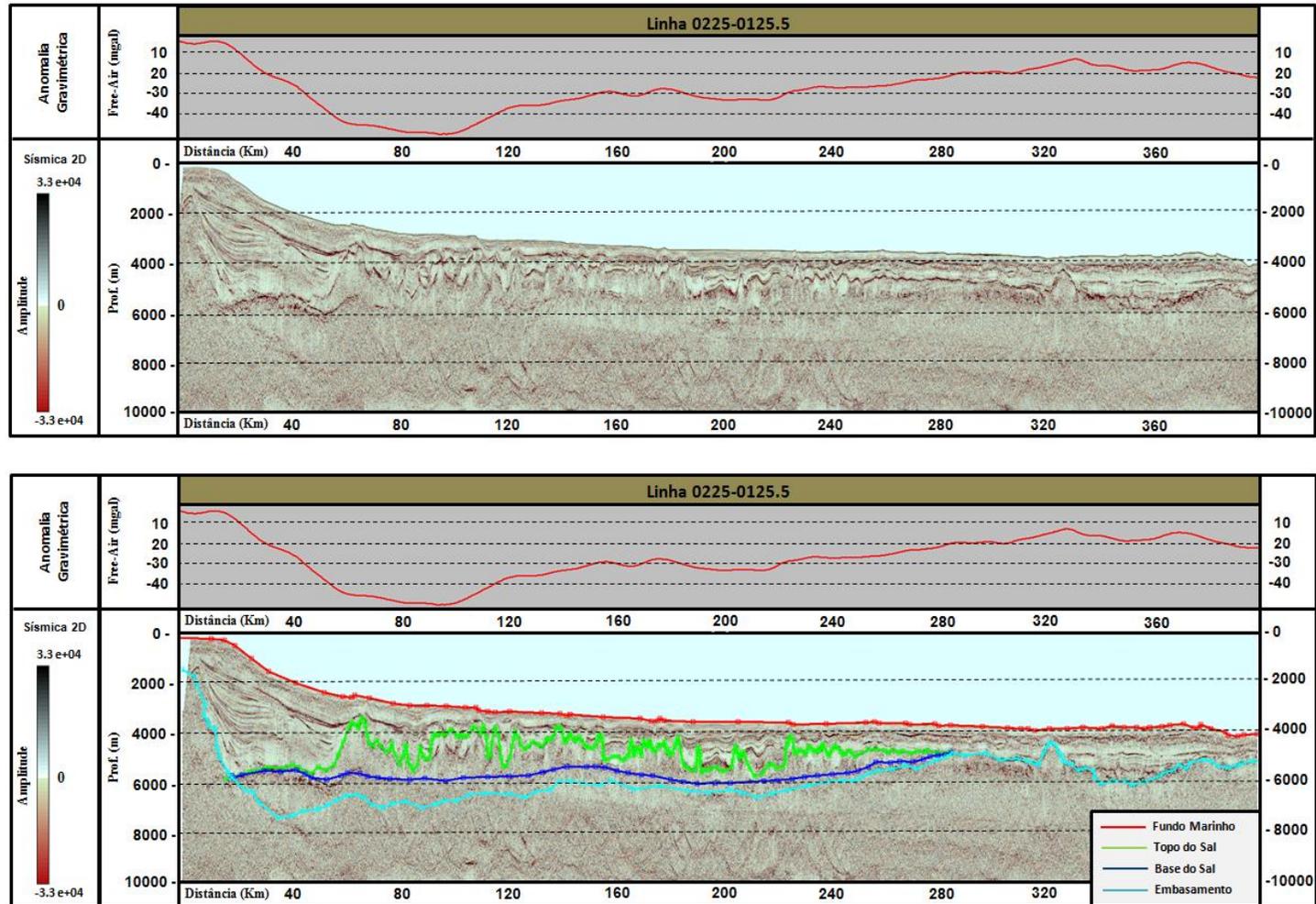
Fonte: Autor

Figura 35 - Linha sísmica 0239-0367 juntamente com sua interpretação e perfil gravimétrico Free-Air sobre a linha.



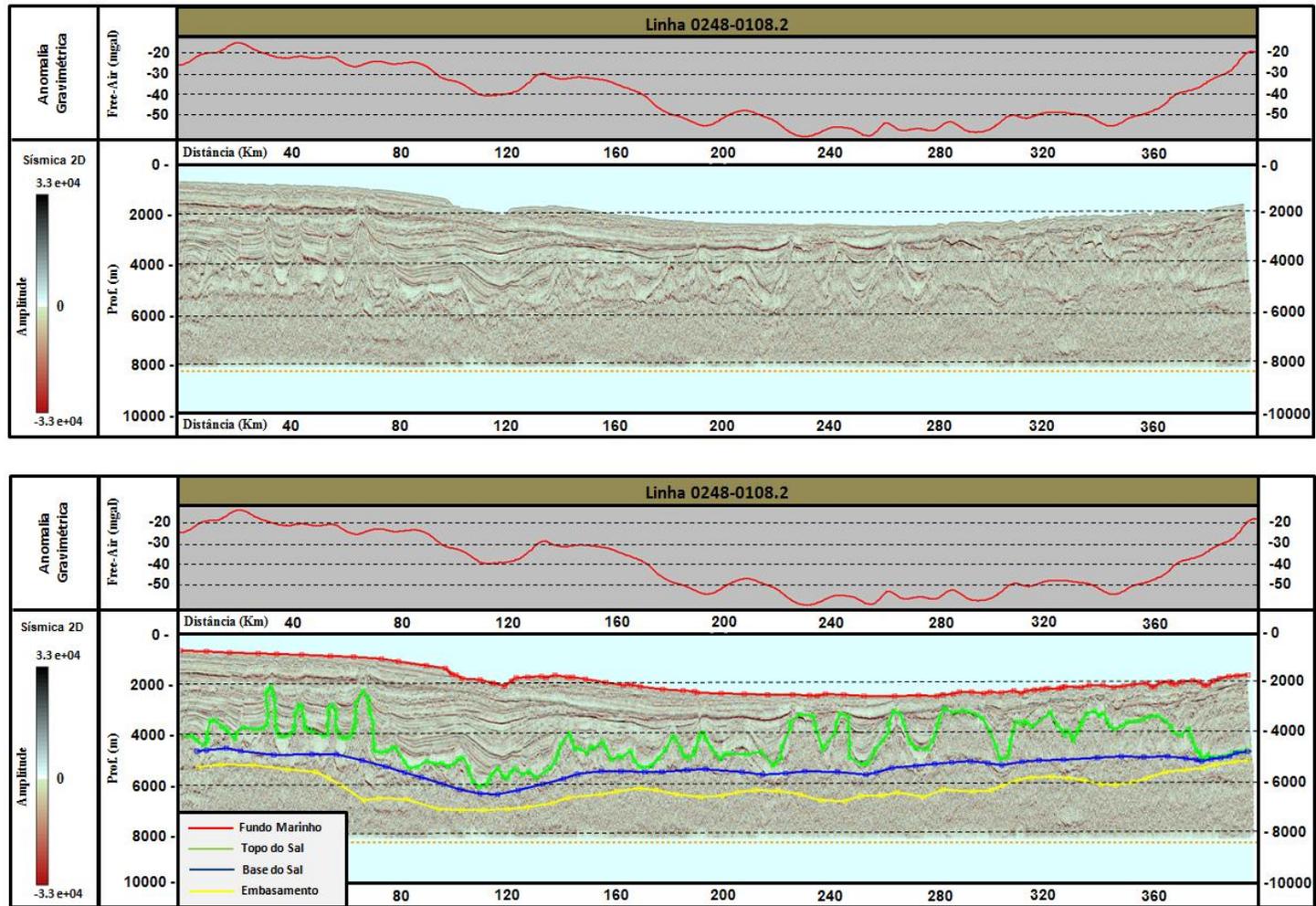
Fonte: Autor

Figura 36 - Linha sísmica 0222-0125 juntamente com sua interpretação e perfil gravimétrico Free-Air sobre a linha.



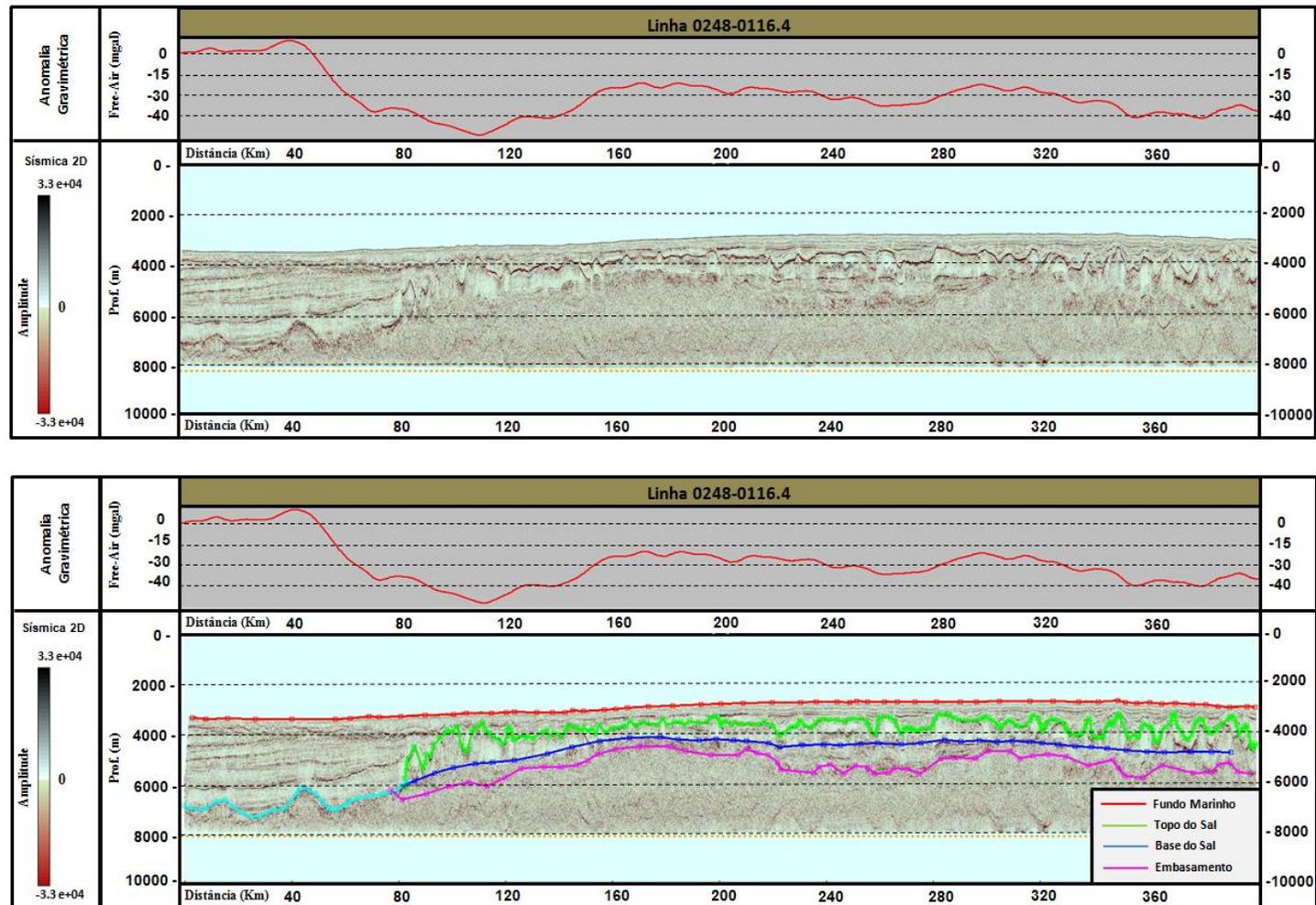
Fonte: Autor

Figura 37 - Linha sísmica 0248-0108 juntamente com sua interpretação e perfil gravimétrico Free-Air sobre a linha.



Fonte: Autor

Figura 38 - Linha sísmica 0248-0116 juntamente com sua interpretação e perfil gravimétrico Free-Air sobre a linha.



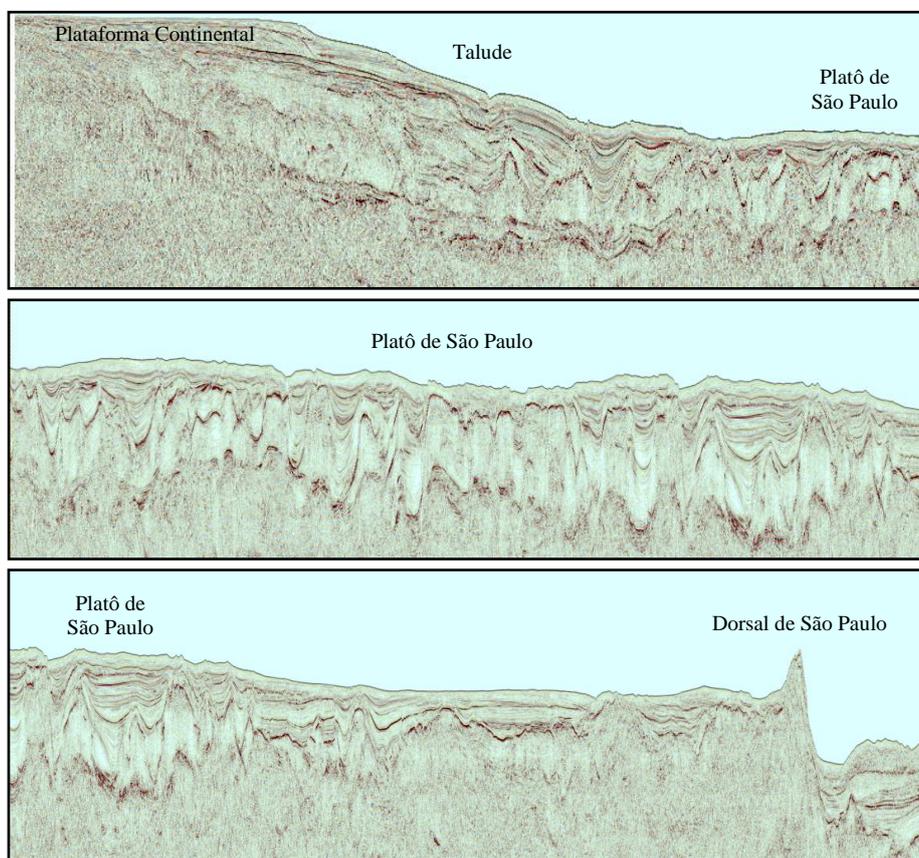
Fonte: Autor

Baseado nas interpretações individuais de cada linha, temos que:

Linhas Dip (0239-366 / 0222-125 / 0239-367)

De maneira geral, o primeiro ponto é a geomorfologia do fundo oceânico, que como descrito em outros tópicos apresenta particularidades em relação às demais bacias sedimentares marginais, como o Platô de São Paulo e a Dorsal de São Paulo. Em resumo é possível observar a passagem de um relevo de suave gradiente batimétrico negativo na região da plataforma continental, para um aumento gradiente na região do talude continental e posteriormente um gradiente mais suave na região do Platô de São Paulo, porém com um relevo mais acidentado devido às movimentações halocinéticas. Na Dorsal de São Paulo, somente observada na linha 0239-366 (Figura 39), ocorre um novo aumento do gradiente, só que desta vez positivo e negativo, respectivamente, podendo atingir até 2000 m de desnível morfológico na sua fachada sul (bacia de Pelotas), e até cerca de 500 m para norte (Platô de São Paulo) como observado também por Kumar e Gamboa (1979).

Figura 39 - Principais características geomorfológicas do fundo marinho na linha 0239-366,



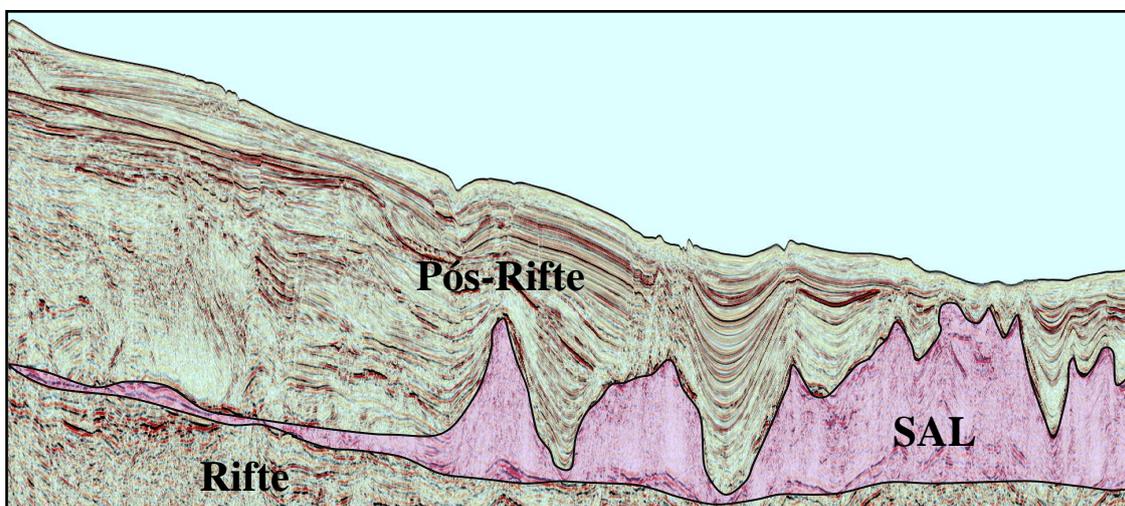
Fonte: Autor

O segundo ponto é visualização dos diferentes domínios estratigráficos, em sua maioria na fase pós-rifte devido ao maior número de mudanças deposicionais e pela melhor resolução de imageamento sísmico, fato difícil de se observar na fase rifte devido ao baixo imageamento sísmico (Fig 40). Esse último fator, que ao longo do trabalho foi apontado como razão para a escolha da integração, fica evidente ao observar as linhas sísmicas.

As mudanças das características físicas entre as fases anteriormente colocadas facilitaram a interpretação das mesmas, já que tais mudanças proporcionam alterações na velocidade de propagação da onda sísmica e conseqüentemente na geração de zonas refletora com maiores amplitudes.

Partindo da fase Pós-Rifte, a mesma apresenta seu limite superior marcado pelo fundo marinho e seus limites inferiores marcados pelo topo do sal e pelo topo do embasamento, em domínios de mar profundo entre o final do platô de São Paulo e a dorsal de São Paulo.

Figura 40 - Diferenças na qualidade de imageamento entre as camadas Rifte e Pós-Rifte devido ao

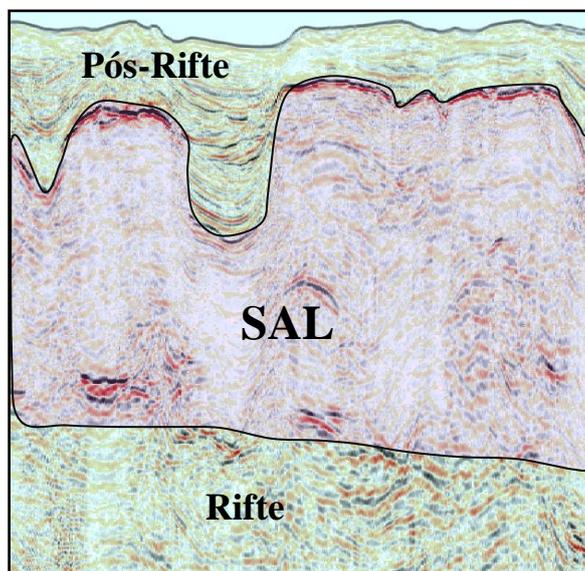


Fonte: Autor

Em termos sedimentar, como descrito no tópico sobre a geologia regional, essa fase é dominada por diferentes sistemas deposicionais em ambiente marinho aberto, sendo em sua grande maioria por folhelhos com sucessões de areias e carbonatos albianos sobre o topo do sal. Possíveis corpos vulcânicos são observados, porém devido a qualidade dos dados é difícil afirmar com segurança a natureza dessas feições sísmicas.

A fase Transicional ou Evaporítica apresenta seu limite superior (ou Topo do Sal) limitado pelos sedimentos do Pós-Rifte (Pós-Sal) e seu limite inferior (ou Base do Sal) limitado pelos sedimentos do Sinrifte (Pré-Sal). Os contrastes entre as características físicas nas zonas de contato propiciam uma melhor interpretação do topo e uma razoável na base (Figura 41), porém quando se procura uma maior exatidão na interpretação, poderá ocorrer uma maior dificuldade devido ao retrabalhamento dos sedimentos por causa das movimentações halocinéticas no topo e a perda de sinal na base, devido à espessa camada de sal.

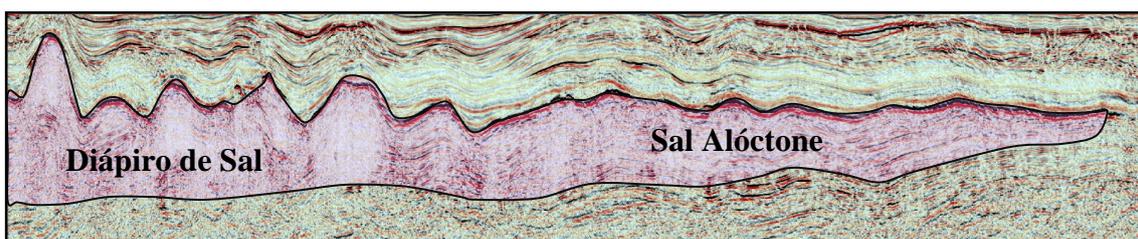
Figura 41 - A grande camada de sal filtra o sinal sísmico, gerando perda de qualidade do imageamento nas estruturas subjacentes.



Fonte: Autor

Como visto nas bibliografias de referência, quase todos os corpos de sal têm seus limites em torno do limite do platô de São Paulo em águas profundas, podendo ser classificados em algumas regiões como sal alóctone (Figura 42).

Figura 42: Presença de diápiros de sal autóctone e sal alóctone.



Fonte: Autor

O embasamento se apresenta desde seu mergulho nas regiões de águas rasas até as áreas externas a bacia em águas profundas delimitando assim a fase Rifte. De forma geral, é observado um embasamento com grande mergulho na região dos grandes depocentros da bacia (proximal) com características próprias de falhamento normal e profundidades superiores a 7km (Figura 43). Todavia, quando se mapeia o mesmo em direção a dorsal de São Paulo (distal), é observada uma diminuição no grau de falhamento e da espessura sedimentar referente a fase rifte, em muitos a partir das regiões dos altos externos.

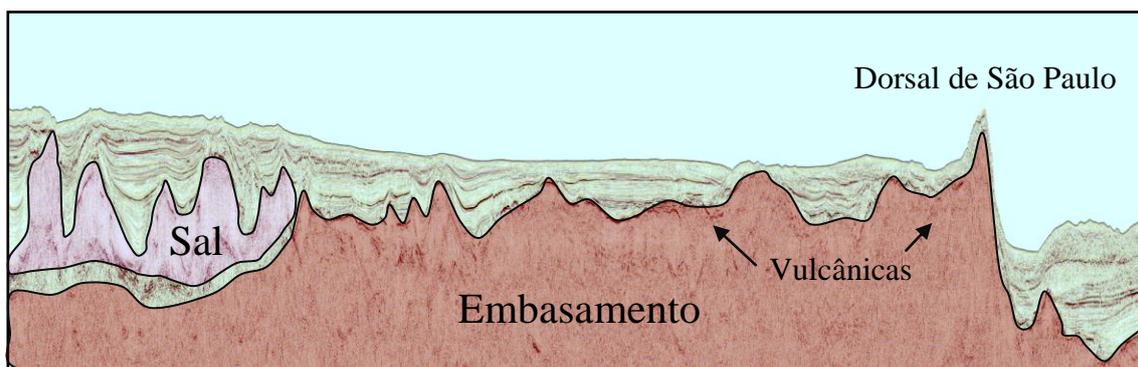
Figura 43 - Embasamento na área proximal da bacia.



Fonte: Autor

Na região entre o platô de São Paulo e dorsal de São Paulo são observados sedimentos de possíveis idades superiores ao aptiano (Pós-rifte), porém, somente pela interpretação sísmica é difícil concluir se o embasamento mapeado nessa região é de natureza totalmente oceânica, parcialmente oceânica e transicional ou totalmente transicional. Chang *et al* (1992) e autores mais modernos colocam o limite crosta continental oceânica, com uma parte transicional ao término dos sedimentos evaporíticos no Platô de São Paulo, já outros autores, como Eliane (2002) defendem o limite na região da dorsal de São Paulo (Figura 44)

Figura 44 - Embasamento na área distal da bacia com a presença de estruturas vulcânicas.



Fonte: Autor

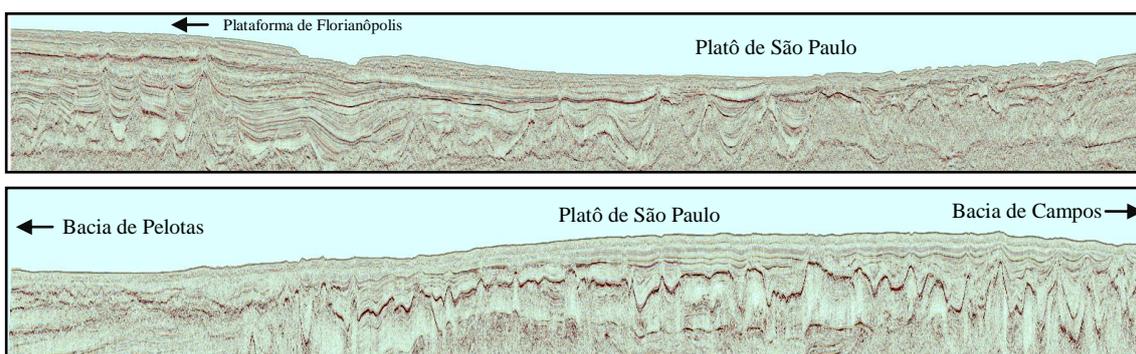
Além disso, é possível observar a presença de estruturas vulcânicas entre o platô de São Paulo e a dorsal de São Paulo, fato que levou a defesa dessa região já estar em domínio de crosta oceânica (Figura 44).

Olhando para os perfis gravimétricos, é possível observar as faixas de sinal mencionadas quando analisado o mapa regional, sendo as faixas F1, F2 e F3 identificadas em todas as linhas e a faixa F4 somente na linha 0239-366, devido a sua extensão até a região da dorsal de São Paulo.

Linhas Strikes (0248-108 / 0248-116)

Igualmente as linhas dip, foram feitas interpretações com focos nas principais fases, porém observando como lateralmente a bacia se diferencia. De forma geral, a geomorfologia do fundo oceânico é mais plana, apresentando maior declividade na linha 0248-108 em seu extremo sul, quando a mesma se aproxima da plataforma de Florianópolis (Figura 45). Em termos de profundidade, as duas linhas se diferenciam entre si, pois se encontram em diferentes localidades da bacia, sendo a linha 0248-108 em águas mais rasas do que a linha 0248-116, não sendo observadas em ambas as feições referente a dorsal de São Paulo (Figura 45).

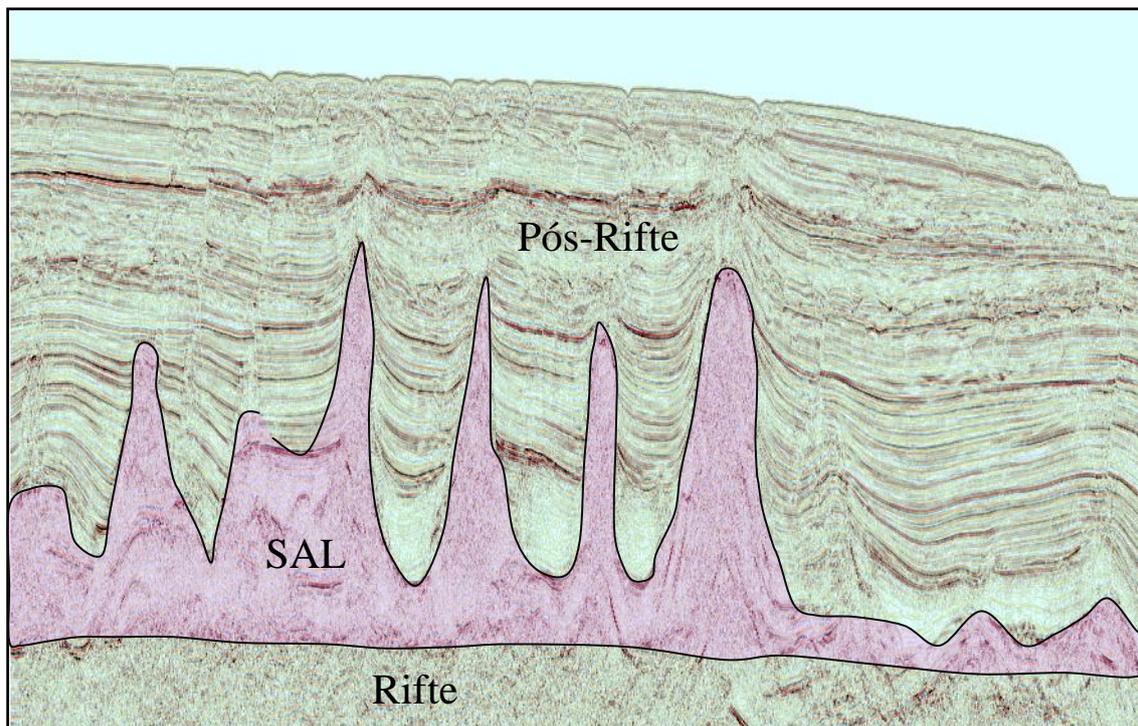
Figura 45 - Principais características geomorfológicas do fundo marinho na linha 0248-108 / 0248-116, representando as linhas strike.



Fonte: Autor

Em relação aos domínios estratigráficos, as observações são similares as linhas dip, no qual na fase pós-rifte é observado um melhor imageamento e conseqüentemente um maior número de mudanças deposicionais respeitando as sucessões litológicas anteriormente citadas ao longo da evolução da bacia (Figura 46).

Figura 46 - Diferenças na qualidade de imageamento entre as camadas Rifte e Pós-Rifte devido ao sal.



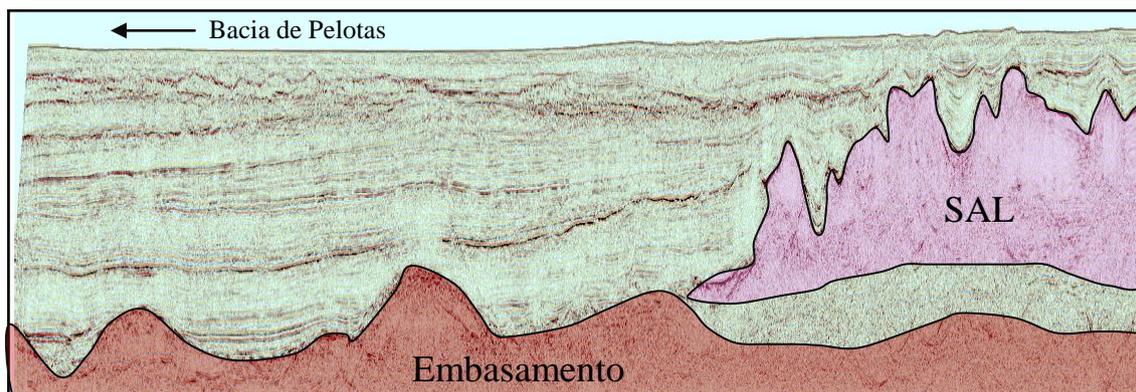
Fonte: Autor

Para a fase transicional, os mesmos padrões são observados em termos de topo e base, todavia diferente das linhas dip, é visto na linha 0248-116 a limitação do sal por uma região de alto de embasamento, possivelmente de origem vulcânica. Essa feição foi mencionada anteriormente como a principal barreira que confinou e separou a bacia de Santos, e as demais ao norte, das bacias ao sul que já tinha um domínio marinho. Por tal motivo, é observada a total ausência de sal após essa barreira em direção a bacia de Pelotas (Figura 47).

Quando se observa a fase rifte o embasamento, é visto a ausência de mergulho do embasamento em direção aos depocentros da bacia, pois a mesma está perpendicular a essas regiões, todavia a espessura sedimentar da fase rifte varia ao longo de ambas as linhas, sendo mais espessa em regiões fora dos altos estruturais.

É observada uma subida do embasamento na direção sul em ambas as linhas que possivelmente está associada a plataforma de Florianópolis e ao alto externo, como descrito anteriormente (Figura 46). Por tal motivo, vários autores consideram essas regiões como de domínio de crosta oceânica com vulcanismo associado. Novamente, somente com as observações dos dados sísmicos é difícil inferir a natureza da crosta.

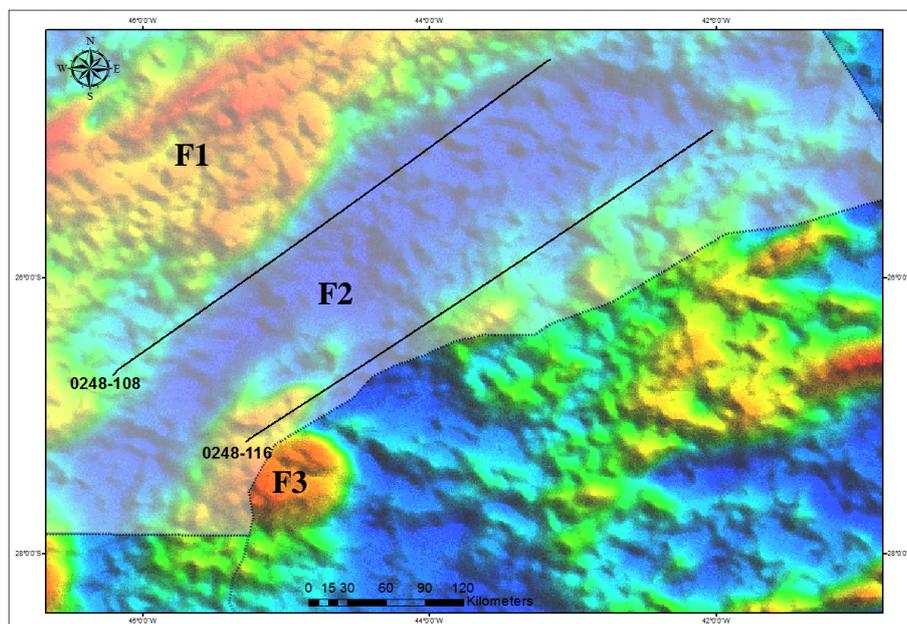
Figura 47 - Representação do limite do sal ao sul da bacia de Santos e a subida do embasamento



Fonte: Autor

Por se tratarem de linhas strikes, a direção de aquisição foi paralela as faixas gravimétricas F1, F2, F3 e F4, onde, a linha 0248-108 encontra-se em sua totalidade dentro da F2, relacionada ao baixo gravimétrico (Figura 48). A linha 0248-116 está sobre duas regiões de alto externos, todavia entre cortada por uma zona de baixo gravimétrico (Figura 48).

Figura 48 - Localização das linhas sísmicas sobre as faixas gravimétricas



Fonte: Autor

Por último, tanto nas linhas Dip quanto nas strikes, a integração da interpretação sísmica com dados de poços foi realizada, porém a mesma é limitada pela localização dos poços sobre as linhas e na bacia, sendo o mais distante na parte inicial do Platô de São Paulo. Além disso, poucas campanhas de perfuração foram realizadas nas partes distais da bacia.