



Observatório
Nacional

Divisão de Programas
de Pós-Graduação

MODELAGEM GRAVIMÉTRICA 2D A PARTIR DE MÉTODOS INTEGRADOS NA BACIA DE MUCURI

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

Candidato: Rodrigo Alberti

Área de Concentração: Geofísica da Terra Sólida

Linha de Pesquisa: Estudos Geofísicos em Escala Local e Regional

Orientador: Dr. Andrés Reinaldo Rodriguez Papa – DPPG/ON/MCTIC

Coorientador: Dr. Juarez Lourenço – ON/ MCTIC

**Rio de Janeiro
Setembro de 2021**

MODELAGEM GRAVIMÉTRICA 2D A PARTIR DE MÉTODOS INTEGRADOS NA
BACIA DE MUCURI

Rodrigo Alberti

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
GEOFÍSICA DO OBSERVATÓRIO NACIONAL/MCTI COMO PARTE DOS
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM
CIÊNCIAS EM GEOFÍSICA.

Examinada por:

Andrés Reinaldo Rodriguez Papa

Juarez Lourenço

Emanuele Francesco La Terra

Gilmar Vital Bueno

RIO DE JANEIRO
SETEMBRO DE 2021

Resumo da Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica do Observatório Nacional/MCTI, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Geofísica.

***MODELAGEM GRAVIMÉTRICA 2D A PARTIR DE MÉTODOS INTEGRADOS NA
BACIA DE MUCURI***

Rodrigo Alberti

Setembro de 2021

O presente estudo apresenta uma nova interpretação do posicionamento de plútons e rochas vulcânicas do Paleógeno na Bacia de Mucuri, na Margem Leste Brasileira. Mapas temáticos magnetométricos e gravimétricos – e a análise da assinatura geofísica – possibilitaram estabelecer relações com características litológicas e estruturais. Três modelos gravimétricos foram produzidos utilizando como base a localização de seções sísmicas, interpretação sísmica, três poços, soluções de deconvolução de Euler e trabalhos disponíveis na literatura. A identificação de lineamentos gravimétricos e magnetométricos permite associar lineamentos de direções N-S e SW-NE à orientação estrutural do rifte originário das bacias da margem leste, ao mesmo tempo em que as direções NW-SE e W-E coincidem com falhas transformantes e zonas de fraqueza acomodadoras dos movimentos de placas litosféricas. A modelagem gravimétrica 2D possibilitou um posicionamento de plútons básicos e de rochas vulcânicas do Paleógeno coerente com trabalhos disponíveis na literatura.

Palavras chave: Gravimetria; Interpretação Sísmica; Magnetometria; Integração de Métodos Geofísicos.

*“Todas las cosas son palabras del
Idioma en que Alguien o Algo, noche y día,
Escribe esa infinita algarabía
Que es la historia del mundo. En su tropel”*

(Jorge Luis Borges)

AGRADECIMENTOS

À minha família;

Aos orientadores, por todo suporte;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela cedência da bolsa de estudos durante o mestrado;

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, pelo fornecimento da base de dados;

Ao Observatório Nacional, pela disponibilização de sua estrutura física;

Aos colegas, professores e pesquisadores que fizeram parte de minha trajetória acadêmica até o presente o momento;

Aos membros da banca, pela disponibilidade em avaliar e contribuir com o desenvolvimento deste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	9
Figura 2 - Mapa da área de estudo com sobreposição das curvas de nível	10
Figura 3 - Carta Estratigráfica da Bacia de Mucuri.....	13
Figura 4 - Carta Estratigráfica da Bacia de Mucuri.....	14
Figura 5 - Geometria do Complexo Vulcânico de Abrolhos. 'A', 'B' e 'C' correspondem aos prováveis plútons básicos.....	16
Figura 6 - Notação das componentes do campo magnético terrestre	19
Figura 7 - Mapa de localização das seções sísmicas	26
Figura 8 - Mapa de localização das seções sísmicas (após recorte) e dos poços	27
Figura 9 - Mapa da anomalia ar-livre.....	29
Figura 10 - Mapa do campo magnético anômalo	30
Figura 11 - Mapa magnético reduzido ao pólo	31
Figura 12 - Mapa magnético da primeira derivada vertical.....	33
Figura 13 - Mapa magnético da amplitude do sinal analítico	34
Figura 14 - Mapa de soluções de deconvolução de Euler para contatos ($SI=0$)	36
Figura 15 - Mapa de soluções de deconvolução de Euler para falhas de grande rejeito ($SI=0,5$)	37
Figura 16 - Localização das seções sísmicas cortadas, sobre “Um modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos” de Sobreira e França (2006).....	38
Figura 17 - Modelo elaborado a partir de um volume sísmico 3D	39
Figura 18 - Seção sísmica 0223-4627, em amplitude, interpretada	41
Figura 19 - Seção sísmica 0259-1103, em amplitude, interpretada	42
Figura 20 - Seção sísmica 0259-1209, em amplitude, interpretada	43
Figura 21 - Mapa da anomalia ar-livre com a delimitação de domínios, altos e baixos gravimétricos	46
Figura 22 - Mapa da anomalia ar-livre com a delimitação de lineamentos gravimétricos	47
Figura 23 - Diagrama de Roseta produzido a partir dos lineamentos gravimétricos ..	47
Figura 24 - Mapa da amplitude do sinal analítico a partir da redução ao pólo com a delimitação de domínios, altos e baixos magnetométricos	50
Figura 25 - Mapa da primeira derivada vertical com a delimitação de lineamentos	

magnetométricos.....	51
Figura 26 - Diagrama de Roseta produzido a partir dos lineamentos magnéticos	51
Figura 27 - Localização das seções sísmicas e domínios gravimétricos sobrepostos ao mapa da anomalia ar-livre	53
Figura 28 - Mapa atualizado da espessura crustal da América do Sul.....	55
Figura 29 - Perfil gravimétrico da linha 0223-4627	56
Figura 30 - Modelo gravimétrico da linha 0223-4627	57
Figura 31 - Perfil gravimétrico da linha 0259-1103.....	58
Figura 32 - Modelo gravimétrico da linha 0259-1103	59
Figura 33 - Perfil gravimétrico da linha 0259-1209.....	60
Figura 34 - Modelo gravimétrico da linha 0259-1209	61
Figura 35 - Visualização integrada dos modelos gravimétricos.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sumário das especificações do projeto gravimétrico	23
Tabela 2 - Sumário das especificações do projeto magnetométrico	24
Tabela 3 - Índices estruturais para corpos magnéticos	35
Tabela 4 - Valores de densidade utilizados para a modelagem gravimétrica	54
Tabela 5 - Comparação entre as espessuras máximas nos modelos e na carta estratigráfica da Bacia de Mucuri, de França et al. (2007)	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
1.1 OBJETIVOS DO PROJETO	8
1.2 ÁREA DE ESTUDO.....	8
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	11
3 MÉTODOS GEOFÍSICOS	17
3.1 GRAVIMETRIA.....	17
3.2 MAGNETOMETRIA.....	18
3.3 SÍSMICA DE REFLEXÃO.....	21
4 BASE DE DADOS	23
4.1 DADOS GRAVIMÉTRICOS.....	23
4.2 DADOS MAGNÉTICOS.....	24
4.3 DADOS SÍSMICOS	25
4.4 POÇOS	26
5 METODOLOGIA	28
5.1 ANOMALIAS DA GRAVIDADE	28
5.1.1 Anomalia ar-livre	28
5.2 APLICAÇÃO DE FILTROS.....	29
5.2.1 Redução ao polo	30
5.2.2 Primeira derivada vertical	31
5.2.3 Amplitude do sinal analítico	33
5.3 DECONVOLUÇÃO DE EULER	35
5.4 INTERPRETAÇÃO SÍSMICA	38
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
6.1 ASSINATURA GEOFÍSICA	44
6.1.1 Assinatura gravimétrica	44
6.1.2 Assinatura magnetométrica	48
6.2 MODELAGEM GRAVIMÉTRICA	52
7 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66
ANEXO I – PERFIL CONVENCIONAL DO POÇO 1-ESS-119-ES	71
ANEXO II – PERFIL CONVENCIONAL DO POÇO 1-ESS-20-ES	74
ANEXO III – PERFIL CONVENCIONAL DO POÇO 1-BAS-122-BA	77

1 INTRODUÇÃO

A Bacia de Mucuri é caracterizada como uma bacia de margem passiva, formada quando da separação do continente Sul-Americano e Africano na fragmentação do supercontinente Gondwana (ZALÁN; OLIVEIRA, 2005). A bacia foi por muito tempo tratada conjuntamente à Bacia do Espírito Santo, por conta de semelhanças evolutivas e genéticas entre estas. Algumas particularidades motivam o tratamento individualizado de cada uma delas, como por exemplo: a influência do vulcanismo de Abrolhos, evidenciada pela maior diversidade de estilos estruturais na porção correspondente à Bacia de Mucuri.

Sobreira e França (2006) propuseram um modelo tectono-magmático para a região de ocorrência do vulcanismo de Abrolhos, com implicações positivas para aspectos de geração, migração e formação de trapas para hidrocarbonetos e, assim, para o potencial exploratório da região como um todo. Estes autores delimitam a ocorrência de ‘prováveis plútons básicos’ e ‘rochas vulcânicas’.

O presente estudo apresenta uma interpretação do posicionamento destes ‘prováveis plútons básicos’ e ‘rochas vulcânicas’, juntamente com unidades sedimentares referentes às diferentes fases tectônicas da bacia. Os dados utilizados como base são perfis convencionais de poços, seções sísmicas e dados gravimétricos e magnetométricos de levantamento marítimo.

De acordo com PETROBRAS (2019), a bacia quando tratada conjuntamente à Bacia do Espírito Santo tem como principal característica a diversidade. As ocorrências de hidrocarbonetos em terra, desde gás até óleos extrapesados, possibilitam antecipar o uso de tecnologias, tornando a região um laboratório em escala de campo. A produção *onshore* na bacia iniciou ao final dos anos 1960, registrando também importantes descobertas desde o fim dos anos 1990. Na porção *offshore*, o grande potencial é conferido a óleo leve e gás. A produção de óleo em águas rasas teve início em 1978 com o campo de Cação. Já em águas profundas, a primeira descoberta foi o campo de Golfinho, em 2002, com óleo leve e gás associado. As acumulações de hidrocarbonetos são geralmente pequenas, numerosas e próximas umas das outras, permitindo um bom aproveitamento comercial e conferindo potencial petrolífero à bacia.

O Capítulo 2 contextualiza os principais aspectos geológicos da área de estudo.

O Capítulo 3 descreve os métodos geofísicos utilizados nesta pesquisa.

O Capítulo 4 apresenta as bases de dados utilizadas.

O Capítulo 5 apresenta a metodologia adotada.

O Capítulo 6 apresenta os resultados e discussão.

As conclusões estão expostas no Capítulo 7.

1.1 OBJETIVOS DO PROJETO

Os objetivos deste projeto são:

- 1- Elaborar mapas temáticos gravimétricos e magnetométricos e identificar domínios e lineamentos;
- 2- Produzir três modelos gravimétricos 2D, a partir da integração de dados sísmicos, dados de poços, trabalhos existentes na literatura e soluções de deconvolução de Euler.

1.2 ÁREA DE ESTUDO

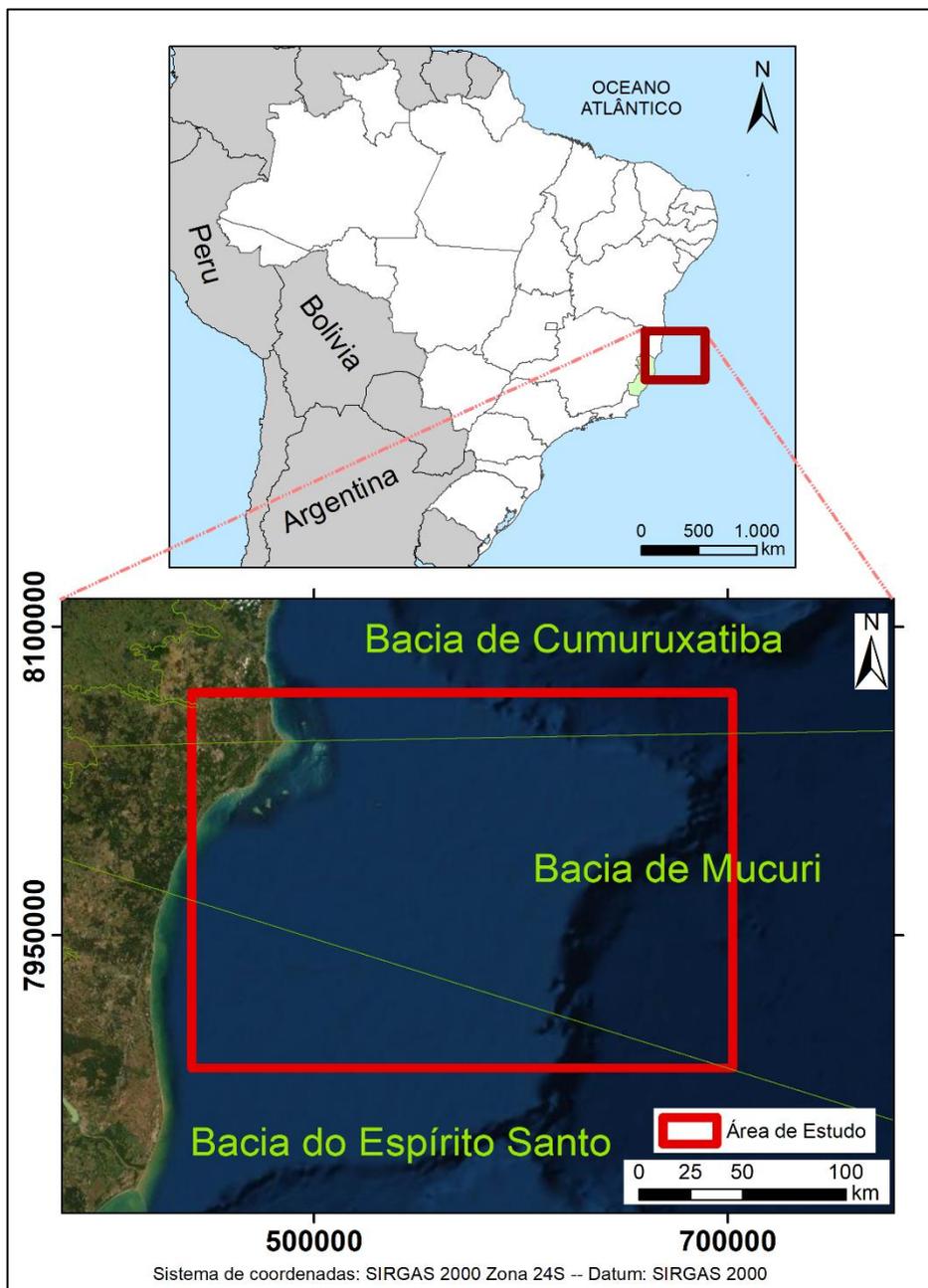
As bacias do Espírito Santo e de Mucuri (Figura 1), tratadas conjuntamente, estão localizadas na margem continental leste do Brasil, ocupando uma área aproximada de 50.000 km², dos quais 5.000 km² estão emersos. A porção emersa consiste em uma faixa alongada delimitada, ao sul, pelo Alto de Vitória, a oeste, pelo embasamento cristalino pré-cambriano da Faixa Ribeira, a leste pelo Complexo Vulcânico de Abrolhos e ao norte, pelo Alto de Alcobaça (BIASSUSI, 1990).

Situada no extremo sul do litoral da Bahia, a Bacia de Mucuri foi individualizada, principalmente, a partir de critérios geográficos. Ao Sul, limita-se com a Bacia do Espírito Santo, a partir da divisão administrativa dos estados da Bahia e do Espírito Santo. Está limitada ao norte por um complexo recifal moderno, denominado Parcel das Paredes e a oeste pelo embasamento pré-cambriano aflorante. A bacia possui uma área de 14.800 km² (GOMES, 1992).

A área de estudo está situada na porção centro-oeste da Bacia de Mucuri, sendo representada pelo retângulo vermelho na Figura 1. A delimitação é dada pelas coordenadas georreferenciadas a partir do *datum* SIRGAS 2000, projeção UTM e zona 24S: 440920,080 W, 8068161,566 S; 702251,704 W, 7885280,076 S. A Figura

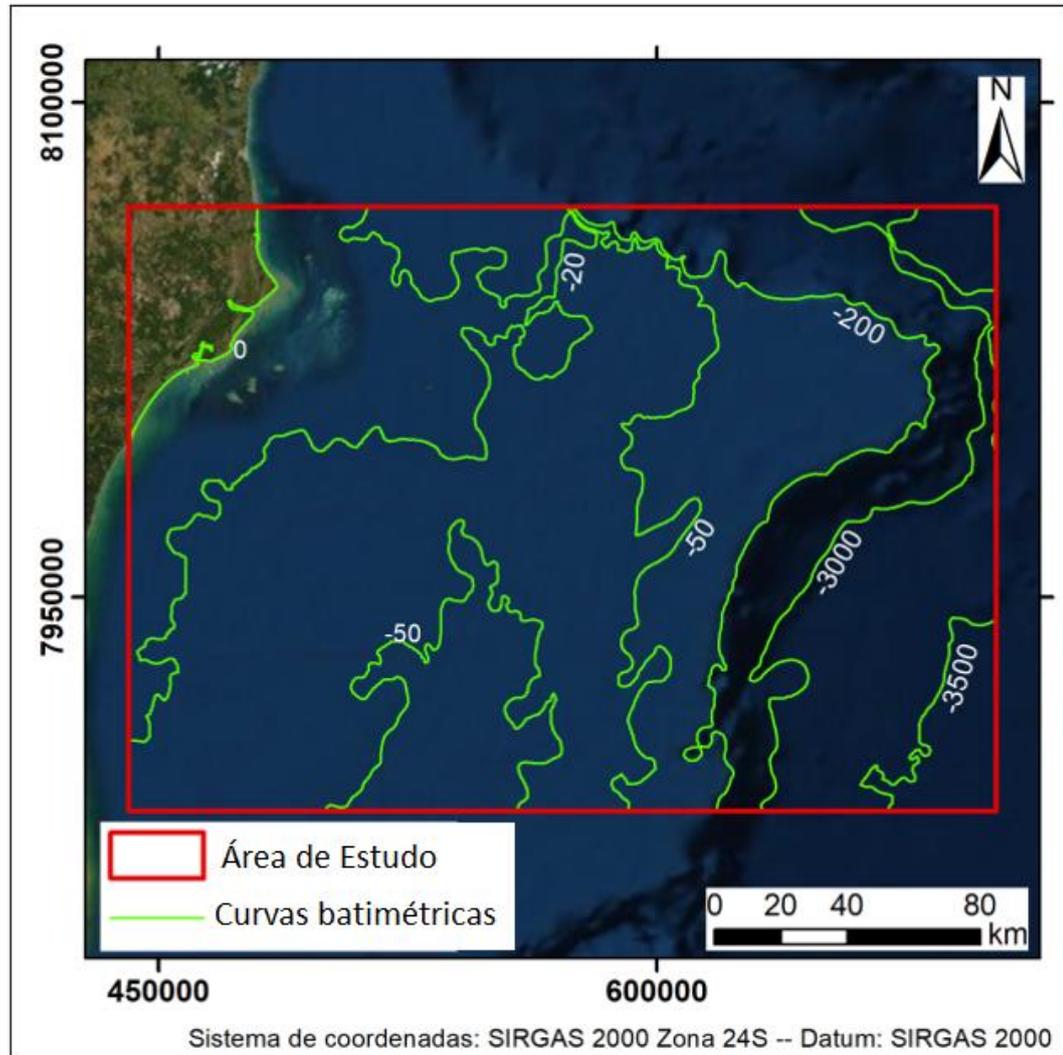
2 demonstra que as áreas sobre a plataforma possuem lâmina d'água de no máximo 200 metros.

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo



Fonte: adaptado de ANP (2019).

Figura 2 - Mapa da área de estudo com sobreposição das curvas batimétricas



Fonte: adaptado de Neto e Roza (2013).

2 CONTEXTO GEOLÓGICO

A margem continental leste do Brasil, em geral, é caracterizada por grabens e meio-grabens limitados por falhas na direção NNE-SSW (ASMUS; GOMES; PEREIRA, 1971). Estruturas *strike-slip* NNW-SSE ocorrem relacionadas a zonas de fraqueza (falhas transformantes) reativadas durante o Cretáceo Superior – Cenozóico, devido a movimentos de ajuste da placa sulamericana posteriores ao rifteamento do Gondwana. Estas estruturas apresentaram reativações até o Neógeno (ASMUS; GOMES; PEREIRA, 1971; HATUSHIKA; SILVA; MELLO, 2007; MELLO; RODRIGUES; HATUSHIKA, 2005; MIRANDA, 2009; NOVAIS, 2005; NOVAIS et al., 2004).

Asmus, Gomes e Pereira (1971) elaboraram a primeira carta estratigráfica para a Bacia do Espírito Santo, com as áreas individualizadas hoje como bacias de Mucuri e Cumuruxatiba abrangidas pela mesma carta. Vieira et al. (1994) publicaram uma versão trazendo as bacias do Espírito Santo e de Mucuri em uma única carta estratigráfica. Certas particularidades, recentemente, motivaram a elaboração de cartas estratigráficas específicas para cada uma das bacias. Cartas estratigráficas para a Bacia de Mucuri são apresentadas na Figura 3 e na Figura 4. Um dos fatores considerados nesta separação é a influência do banco vulcânico de Abrolhos ser maior na Bacia de Mucuri.

Segundo França et al. (2007), o embasamento da bacia, representado pela faixa pré-cambriana, é constituído por migmatitos, granulitos, gnaisses granatíferos e granitóides associados a rochas metamórficas de fácies granulito.

A evolução da Bacia de Mucuri, de acordo com França et al. (2007), é classificada subsequentemente na ordem: rifte, pós-rifte e drifte.

A fase rifte apresenta sedimentos e rochas vulcânicas posicionadas temporalmente entre o Neocomiano e o Aptiano Inferior. O processo de deposição é controlado por falhamentos típicos, onde os diversos pulsos tectônicos estão representados por conglomerados sintectônicos de borda de falha na porção terrestre. Os períodos de maior atividade tectônica são comprovados pela intercalação destes sedimentos com rochas vulcânicas da Formação Cabiúnas (FODOR; MCKEY; ASMUS, 1983). De acordo com Gomes e Suita (2010), o registro deste evento vulcânico é representado pela ocorrência de basaltos e diabásios dispostos em

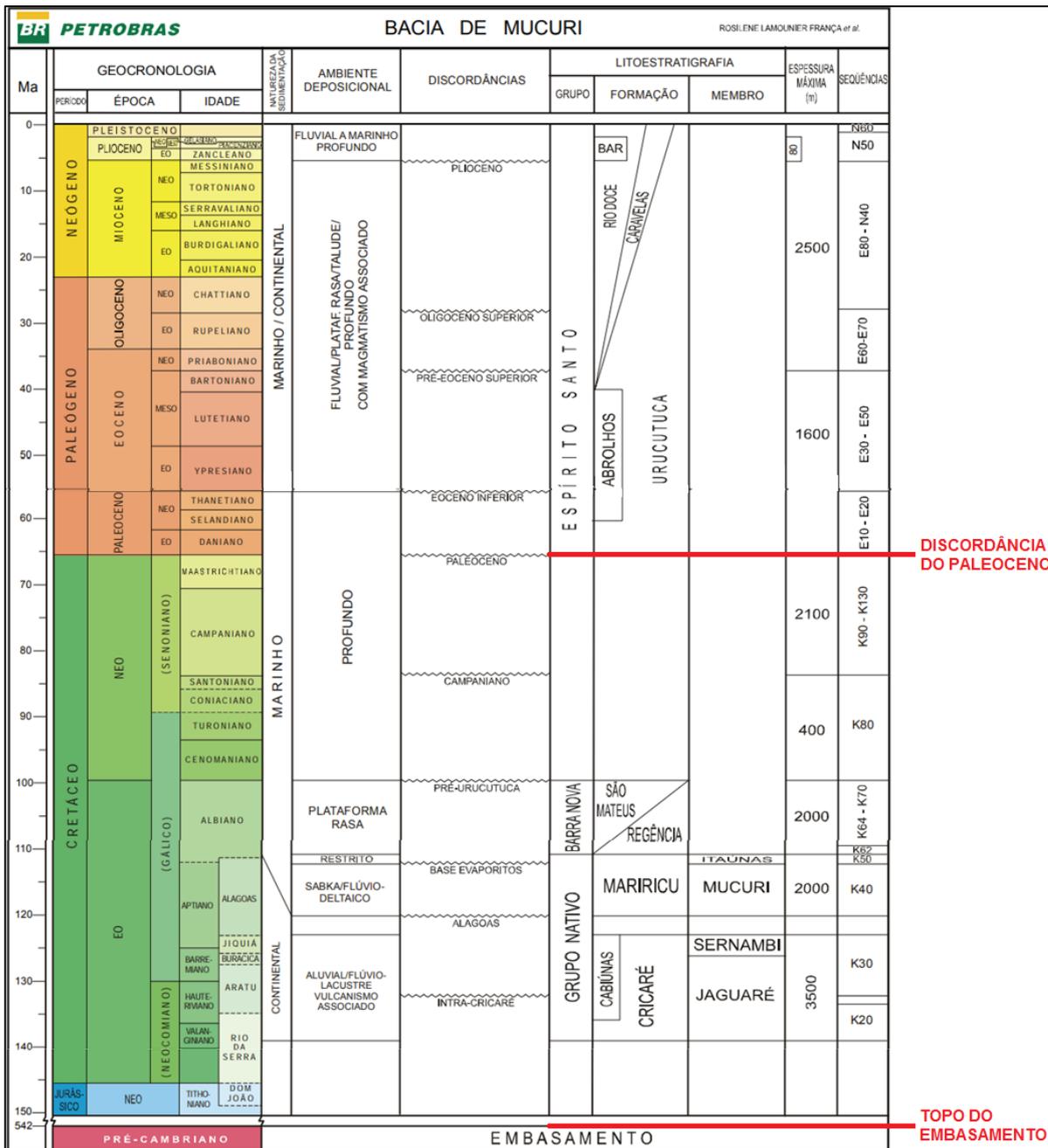
associação aos sedimentos lacustres da bacia. Datações radiométricas a partir do método do K/Ar foram realizadas por Asmus e Guazelli (1981), Fodor, Mckey e Asmus (1983) e Conceição et al. (1994), conferindo às rochas, idades entre 119 Ma e 136 Ma.

A fase pós-rifte refere-se à transição entre o estágio rifte e drifte. É compreendida pela sequência transicional evaporítica (Formação Mariricu), depositado em ambiente fluvio-deltaico a marinho restrito.

O início da fase drifte é caracterizado pela sedimentação de evaporitos aptianos. O estágio subsequente se associa ao processo contínuo de subsidência térmica, caracterizado por uma plataforma carbonática rasa de idade albiana, afogada por sedimentos de águas profundas a partir do Albiano Superior – Cenomaniano.

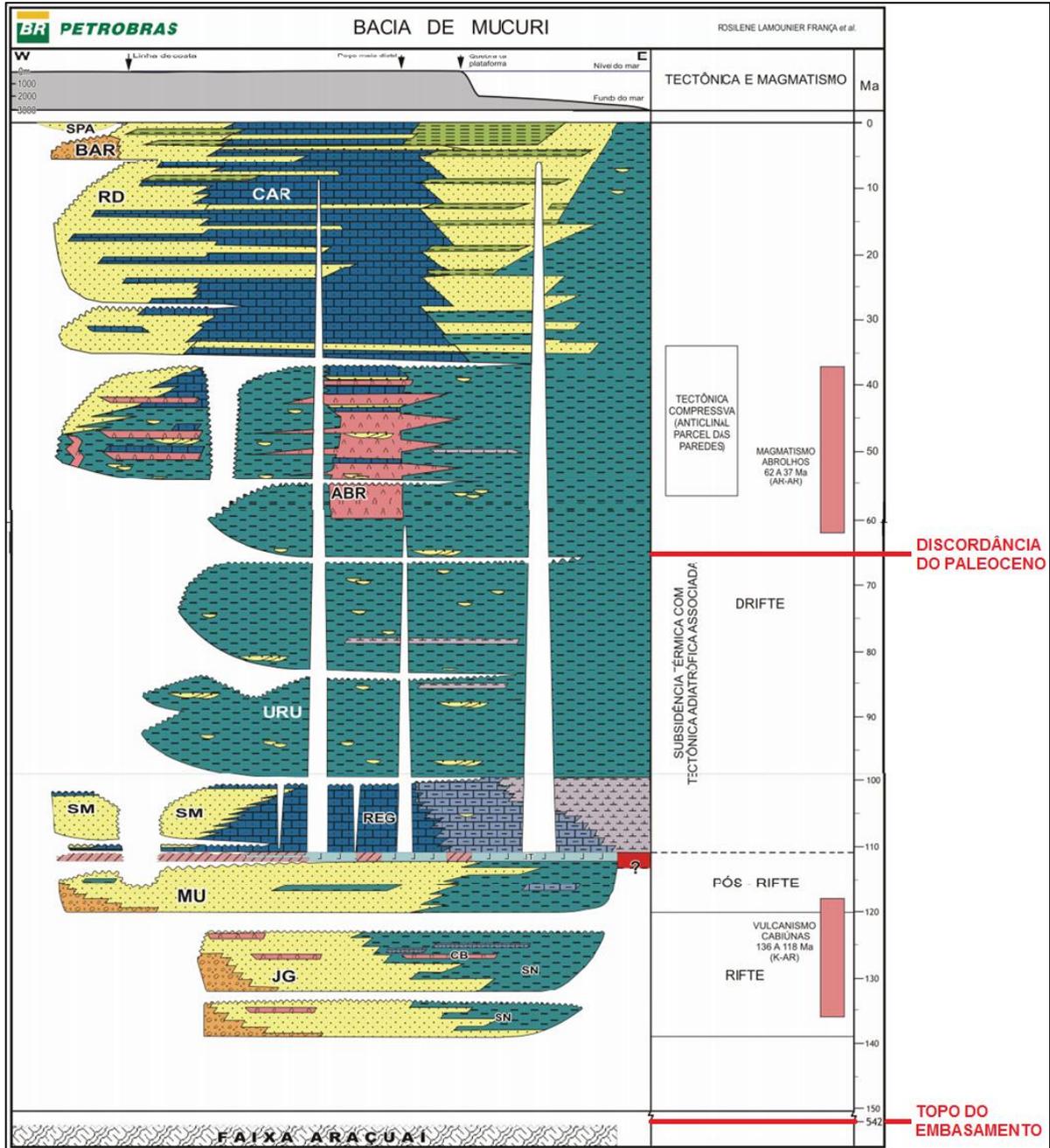
O segundo evento vulcânico que modificou intensamente a fisiografia da bacia, ocorreu durante o Paleógeno, provocando a geração do Complexo Vulcânico de Abrolhos, compreendendo uma feição de aproximadamente 25.000 km² sobre a qual se desenvolveu uma plataforma carbonática que atinge cerca de 240 km de largura (ASMUS; GOMES; PEREIRA, 1971). França et al. (2007) destacou o fato deste alargamento da plataforma continental ter sido provocado pelo evento magmático de Abrolhos. Oliveira e Leonardos (1943) definiram pela primeira vez a Formação Abrolhos. As rochas vulcânicas da Formação Abrolhos estão inseridas em rochas sedimentares da Formação Urucutuca (FRANÇA et al., 2007). Datações radiométricas efetuadas por Cordani e Blazekovic (1970), Asmus e Guazelli (1981), Fodor, Mckey e Asmus (1983) e Conceição et al. (1994), posicionam este evento magmático entre 42 e 64 Ma.

Figura 3 - Carta Estratigráfica da Bacia de Mucuri



Fonte: adaptado de França et al. (2007).

Figura 4 - Carta Estratigráfica da Bacia de Mucuri

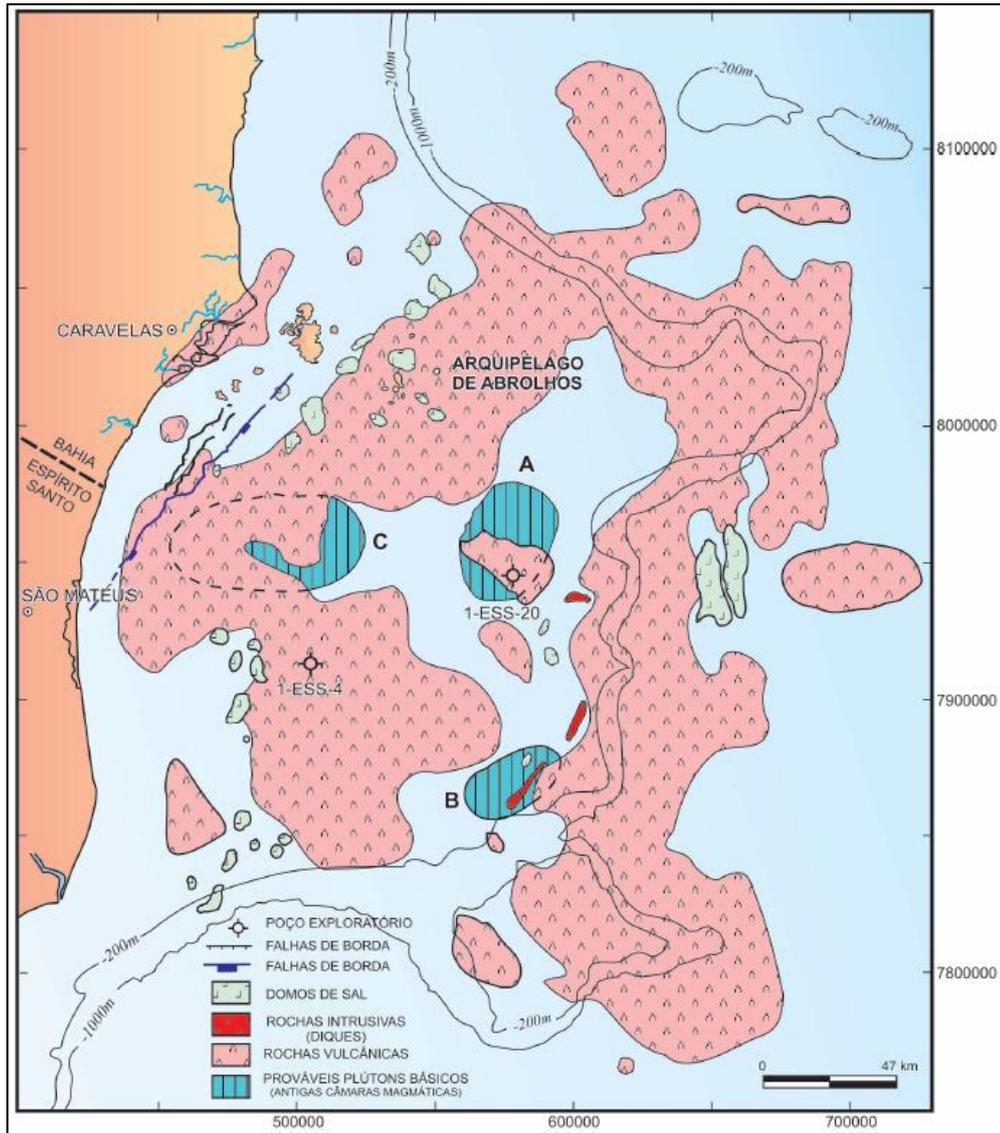


Fonte: adaptado de França et al. (2007).

Sobreira e França (2006) propuseram um modelo tectono-magmático (Figura 5) para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos (CVA). Os autores determinam a posição de três prováveis plútons básicos – rotulados de “A” “B” e “C”, os quais representariam câmaras magmáticas atuantes à época do evento Abrolhos, e a partir das quais os condutos ígneos teriam se irradiado. Os plútons “A” e “B” foram identificados essencialmente por dados magnéticos. A fraca correspondência destes

plútons com dados gravimétricos, pode ocorrer devido a fatores tais como a grande espessura sedimentar esperada nesta porção da bacia, enquanto o plúton “C” é identificado por dados gravimétricos, com pobre correspondência magnética. Assim, é dito que os plútons “A” e “B” estão situados a profundidades menores que a profundidade de Curie, enquanto o plúton “C” estaria a maiores profundidades. A profundidade de Curie para a região do CVA foi calculada como 16,7 km, considerando a temperatura Curie de 550°C – estabelecida para titano-magnetitas das rochas do CVA por Montes-Lauar (1993) – e um gradiente geotérmico médio para a porção marítima da Bacia do Espírito Santo, onde a maior parte do CVA está implantada, de 33°C/km (MIRANDA; DEL REY, 1995). Já as rochas vulcânicas do Paleógeno, representadas da Formação Abrolhos, seguem um padrão de distribuição pseudoanelar – uma distribuição antes heterogênea, e não extensiva, devido ao menos em parte, a processos erosionais que teriam seguido os pulsos magmáticos principais. Os autores destacam que mesmo após algumas publicações sobre a geologia da região, várias incertezas permanecem quando nos referimos ao posicionamento destas rochas.

Figura 5 - Geometria do Complexo Vulcânico de Abrolhos. 'A', 'B' e 'C' correspondem aos prováveis plútons básicos



Fonte: Gomes e Suiça (2010); Sobreira e França (2006).

3 MÉTODOS GEOFÍSICOS

Os métodos potenciais destacam-se como importantes ferramentas de reconhecimento na delimitação de áreas com grande potencial exploratório, assim facilitando a definição de alvos para realizar estudos mais detalhados. Dentre estes métodos, podemos destacar a magnetometria e a gravimetria devido à fácil operabilidade, à praticidade e o baixo custo em relação a outros métodos (KEAREY; BROOKS; HILL, 2002).

Tendo em vista os objetivos desta pesquisa, serão utilizados dados magnéticos, gravimétricos e sísmicos. A seguir, estes métodos serão descritos resumidamente.

3.1 GRAVIMETRIA

A prospecção gravimétrica envolve medições de variações no campo gravitacional da Terra. Não é possível, entretanto, determinar uma fonte única para uma anomalia observada. As técnicas de gravidade e magnetismo são agrupadas como métodos de campo potencial, nos quais a gravidade é uma propriedade inerente da massa (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

Uma ampla gama de situações geológicas originará uma zona de massas anômalas que produzirão anomalias de gravidade significativas. Em menores escalas, depressões sobre uma superfície rochosa podem dar origem a anomalias mensuráveis. Em maiores escalas, anomalias significativas podem estar relacionadas a plútons ou a bacias sedimentares. A partir da forma de uma anomalia, podemos estimar aproximadamente a forma geométrica e profundidade do corpo (KEAREY; BROOKS; HILL, 2002).

A base do método é a Lei da Gravitação Universal, onde a força entre duas partículas de massas é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os centros de massa. A equação é apresentada a seguir:

$$F = \gamma \left(\frac{m_1 m_2}{r^2} \right) r_1 \quad (1)$$

Sendo F , a força em m_2 ; r_1 , um vetor unitário direcionado de m_2 a m_1 ; r , a distância entre m_1 e m_2 ; γ , a constante de gravitação universal, com valor de $6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ no sistema universal.

Assim sendo, para analisarmos a Terra com sua heterogeneidade, o campo gravitacional é melhor definido em termos de potencial gravitacional. De acordo com Blakely (1996), uma superfície equipotencial de particular interesse é o geóide, descrita pelo nível do mar sem os efeitos das correntes oceânicas, clima e marés. A superfície resulta da combinação do potencial centrífugo com o potencial gravitacional. O potencial gravitacional obedece ao princípio da superposição: o potencial gravitacional de um conjunto de massas é a soma das atrações gravitacionais individuais de cada massa. Portanto, a força resultante em uma partícula de teste é simplesmente a soma vetorial das forças produzidas por todas essas massas. Aplicando o princípio da superposição, é apresentada a equação:

$$(U)P = \gamma \int_V \frac{dm}{r} \quad (2)$$

Sendo V , o volume total do corpo; r , a distância do ponto de observação P até o corpo tridimensional; γ , a constante de gravitação universal, com valor de $6,672 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ no sistema universal.

O potencial gravitacional (U) é escalar, enquanto a aceleração gravitacional (g) pode ser definida em termos do potencial, conforme a equação a seguir:

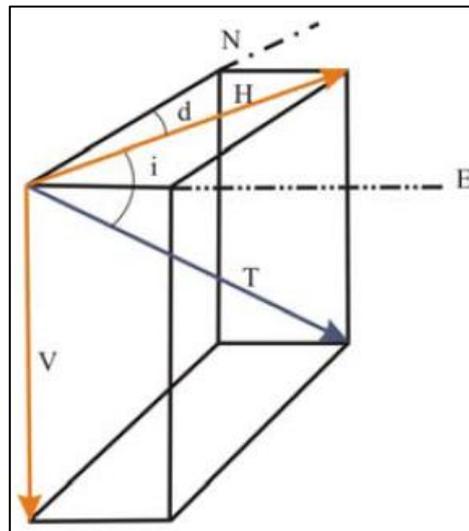
$$g = -\nabla U \quad (3)$$

3.2 MAGNETOMETRIA

Luiz e Silva (1995) destacam que a magnetometria mede pequenas variações na intensidade do campo magnético terrestre, conseqüentemente a distribuição irregular das rochas magnéticas em subsuperfície. A representação do campo magnético pode ser feita a partir de um vetor no espaço, onde o campo total (T) apresenta-se decomposto em componentes denominadas: horizontal (H) e vertical

(V). Conforme demonstrado na Figura 6, o ângulo entre T e H é denominado inclinação magnética (i), e o ângulo que H forma com o norte geográfico é denominado declinação magnética (d).

Figura 6 - Notação das componentes do campo magnético terrestre



Fonte: Luiz e Silva (1995).

O campo magnético terrestre se deve à interação do núcleo interno da Terra, constituído de Ferro e Níquel na forma sólida, com o núcleo externo constituído de Ferro e elementos leves na forma líquida. A ocorrência de processos magnetohidrodinâmicos iniciados a partir de movimento de íons livres do núcleo externo, geram correntes elétricas que produzem um campo eletromagnético (PACCA; ERNESTO, 1979).

Os magnetômetros de campo total são geralmente o instrumento de escolha para levantamentos magnéticos aéreos e marítimos. Como o nome indica, estes equipamentos medem a magnitude do campo magnético total sem levar em conta sua direção vetorial. A anomalia de campo total (ΔT) é calculada a partir de medições de campo total (T) subtraindo a magnitude de um campo regional (F) adequado, geralmente o modelo do Campo de Referência Geomagnético Internacional (IGRF) apropriado para a data do levantamento, conforme a equação a seguir (BLAKELY, 1996):

$$\Delta T = |T| - |F| \quad (4)$$

Considerando a perturbação em F devido a alguma fonte magnética anômala, podemos definir o campo total a partir da equação a seguir (BLAKELY, 1996):

$$T = F + \Delta F \quad (5)$$

A contribuição de interesse neste tipo de análise é a componente crustal. A equação a seguir representa esta contribuição na forma de um campo conservativo (BLAKELY, 1996):

$$B = -\nabla V \quad (6)$$

Sendo B , a componente crustal; V , um campo conservativo que pode ser representado pelo gradiente de um campo escalar.

Em termos de potencial magnético, podemos considerar a sua influência em um ponto P , conforme a equação a seguir (BLAKELY, 1996):

$$B(P) = \frac{\mu_0}{4\pi} \nabla \int_V M \cdot \nabla \frac{1}{r} dv \quad (7)$$

Sendo μ_0 , a permeabilidade magnética do vácuo; r , a distância do ponto de observação P ao corpo tridimensional de magnetização M .

Blakely (1996) destaca que a distribuição de magnetização adquirida nas rochas está associada à presença de minerais magnéticos contidos nelas, provocadas a partir de uma magnetização induzida e/ou remanente. A magnetização induzida ocorre quando o material é submetido a um campo magnético externo cuja magnitude é função da quantidade de substâncias magnéticas presentes nas rochas. Magnetização remanente se refere à magnetização adquirida durante a história geológica e se relaciona ao resfriamento de rochas ígneas abaixo da temperatura de Curie. Em condições de temperatura superiores, a rocha perde suas propriedades magnéticas.

Segundo Lowrie (2007), uma rocha pode ser considerada um conjunto

heterogêneo de diferentes minerais. A maior parte dos minerais constituintes de uma rocha contribui para a susceptibilidade magnética, mas é incapaz de qualquer contribuição nas propriedades magnéticas remanentes, devido a uma dispersão diluída de minerais ferrimagnéticos. A concentração variável de minerais ferrimagnéticos desempenha um papel fundamental na determinação das propriedades magnéticas da rocha, sendo um fator significativo em termos geológicos e geofísicos. Os fatores de maior relevância quanto à influência no magnetismo das rochas, são o tipo de mineral ferrimagnético, seu tamanho de grão e a maneira pelo qual ele adquire uma magnetização remanente.

3.3 SÍSMICA DE REFLEXÃO

De acordo com Telford, Geldart e Sherif (1990), a técnica básica de exploração sísmica consiste em gerar ondas sísmicas e medir o tempo necessário para que elas se desloquem das fontes emissoras para uma série de geofones, geralmente dispostos ao longo de uma linha reta direcionada à fonte. A partir do conhecimento dos tempos de viagem e da velocidade destas ondas, tenta-se reconstruir os seus caminhos.

As ondas sísmicas podem ser separadas em dois tipos: ondas de corpo e ondas de superfície. As ondas de corpo são subdivididas em ondas P e S. As ondas P são dilatacionais, longitudinais, irrotacionais, compressionais e sua nomenclatura se deve ao fato de que este tipo é geralmente o primeiro evento em um registro de terremotos. As ondas S são cisalhantes, transversais, rotacionais e seu nome se deve ao fato de que este tipo de onda geralmente corresponde ao segundo evento observado em registros de terremotos (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

Segundo Parasnis (2012), o método sísmico aplicado à exploração geofísica é baseado nas diferentes velocidades de propagação das ondas elásticas em rochas de diferentes composições. Desta forma, a aquisição do dado é feita a partir do início de propagação das ondas em um determinado ponto, e em outros pontos se realiza a medição do tempo de chegada da energia refletida pelas descontinuidades entre diferentes formações rochosas, possibilitando a dedução da posição das descontinuidades e contatos litológicos. A diferença nas propriedades físicas de duas camadas rochosas resulta geralmente numa alteração da velocidade de propagação

da onda sísmica.

Impedância acústica refere-se a uma propriedade de camada e não uma propriedade de interface como a amplitude do dado sísmico. Essa distinção faz com que a impedância acústica seja uma poderosa ferramenta a ser utilizada no processo de caracterização (CHOPRA, 2001). De acordo com Kearey, Brooks e Hill (2002), o valor da impedância acústica de uma rocha é dado pelo produto entre a densidade (ρ) e a velocidade da onda (v), conforme a equação:

$$Z = \rho v \quad (8)$$

4 BASE DE DADOS

4.1 DADOS GRAVIMÉTRICOS

O presente estudo envolve dados gravimétricos pertencentes ao Projeto 0259_MAG_2D_SPP_2Q_1999, executado pela FUGRO-LCT Inc. Os dados foram cedidos pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). O arquivo disponibilizado em formato de tabela possui campos contendo cálculos da anomalia ar-livre e da anomalia Bouguer. As especificações do projeto estão demonstradas na Tabela 1.

Tabela 1 - Sumário das especificações do projeto gravimétrico

NOME DO PROJETO	0259_MAG_2D_SPP_2Q_1999
BACIA	Campos, Cumuruxatiba, Espírito Santo, Jequitinhonha, Mucuri e Santos
AMBIENTE	Marítimo
NATUREZA DE AQUISIÇÃO	Exclusivo (Pré-98)
OPERADOR	(não informada)
EAD	Fugro do Brasil
DISPONIBILIDADE	Disponível
PÚBLICO	28/03/2010
CONFIDENCIALIDADE	Público
DATA DE CONCLUSÃO	28/03/2000
ATO NORMATIVO	Por. 188/1998
ESPAÇAMENTO	-
ALTURA DE VÔO	-
QUANT. LINHAS DE GM	477
QUANT. DE PONTOS FIXOS	-
QUANT. DOCUMENTOS DE GM	1
TECNOLOGIA	Gravimetria

4.2 DADOS MAGNÉTICOS

O presente estudo envolve dados magnéticos pertencentes ao Projeto 0259_MAG_2D_SPP_2Q_1999, executado pela FUGRO-LCT Inc. Os dados foram cedidos pela ANP. O arquivo disponibilizado em formato de tabela possui campos contendo cálculos de correções de variação diurna e remoção do IGRF. As especificações do projeto estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Sumário das especificações do projeto magnetométrico

NOME DO PROJETO	0259_MAG_2D_SPP_2Q_1999
BACIA	Campos, Cumuruxatiba, Espírito Santo, Jequitinhonha, Mucuri e Santos
AMBIENTE	Marítimo
NATUREZA DE AQUISIÇÃO	Exclusivo (Pré-98)
OPERADOR	(não informada)
EAD	Fugro do Brasil
DISPONIBILIDADE	Disponível
PÚBLICO	28/03/2010
CONFIDENCIALIDADE	Público
DATA DE CONCLUSÃO	28/03/2000
ATO NORMATIVO	Por. 188/1998
ESPAÇAMENTO	-
ALTURA DE VÔO	-
QUANT. LINHAS DE GM	491
QUANT. DE PONTOS FIXOS	-
QUANT. DOCUMENTOS DE GM	1
TECNOLOGIA	Magnetometria

4.3 DADOS SÍSMICOS

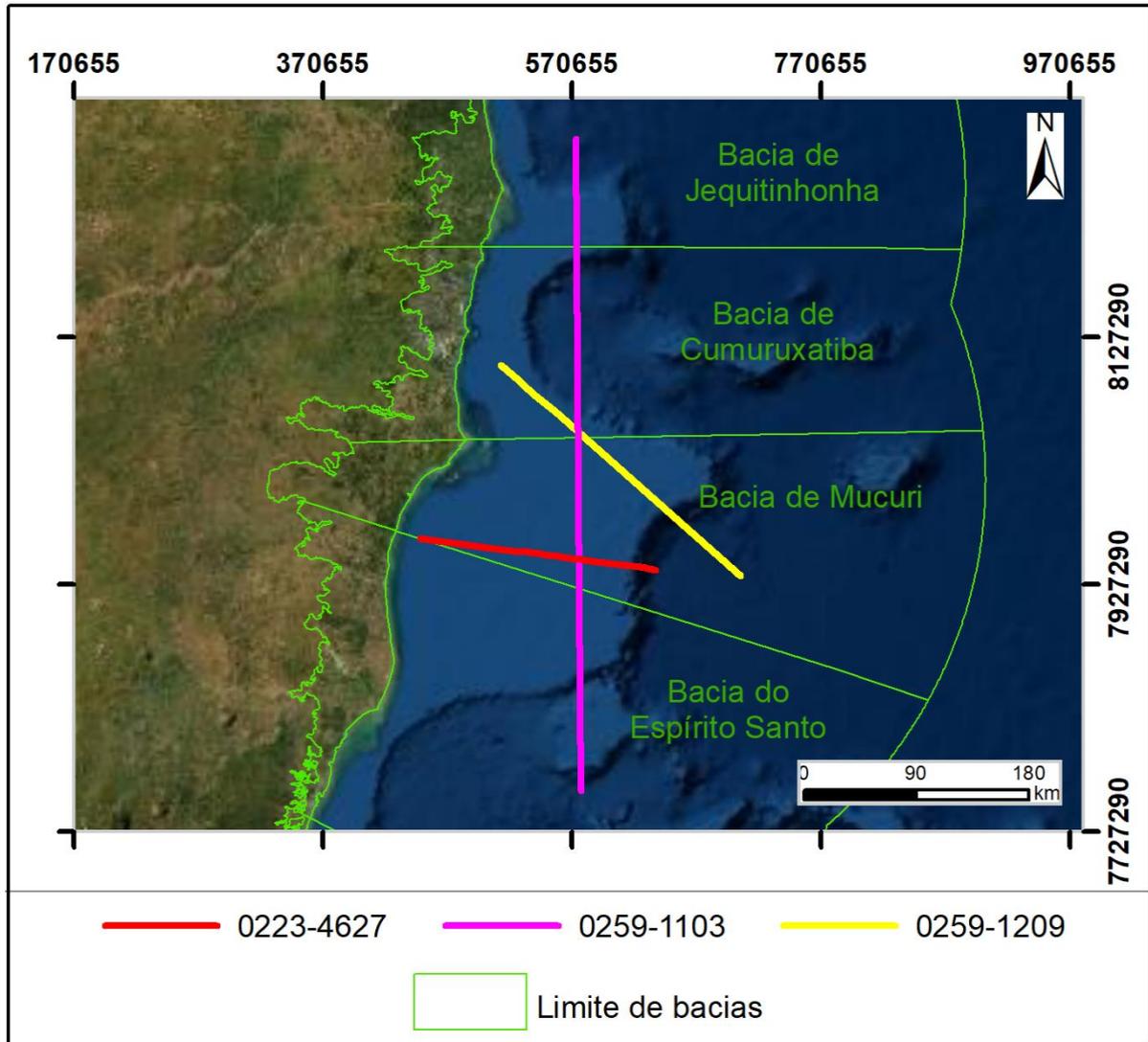
As seções sísmicas 0259-1209 e 0259-1103 pertencem ao projeto 0259_2D_SPP_2Q_1999_RM14. A seção sísmica 0223-4627 faz parte do projeto de aquisição 0223_ESPIRITO_SANTO_3A. Os dados foram cedidos pela ANP.

A seção 0223-4627, originalmente, possui os seguintes vértices: 449014,719 (E) 7964053,138 (N) e 637921,747 (E) 7938836,549 (N) (Figura 7). Para o desenvolvimento deste trabalho, a seção foi recortada e interpretada somente entre os vértices: 449014,719 (E) 7964053,138 (N) e 606602,819 (E) 943299,917 (N) (Figura 8).

A seção 0259-1103, originalmente, possui os seguintes vértices: 573973,157 (E) 8287379,525 (N) e 578009,025 (E) e 7760393,708 (N) (Figura 7). Para o desenvolvimento deste trabalho, a seção foi recortada e interpretada somente entre os vértices: 575625,785 (E) 8056449,455 (N) e 576596,611 (E) 7924530,691 (N) (Figura 8).

A 0259-1209, originalmente, possui os seguintes vértices: 705788,536 (E) 7934267,142 (N) e 513594,194 (E) 8104528,471 (N) (Figura 7). Para o desenvolvimento deste trabalho, a seção foi recortada e interpretada somente entre os vértices: 569643,746 (E) 8055918,629 (N) e 645070,537 (E) 7988534,205 (N) (Figura 8).

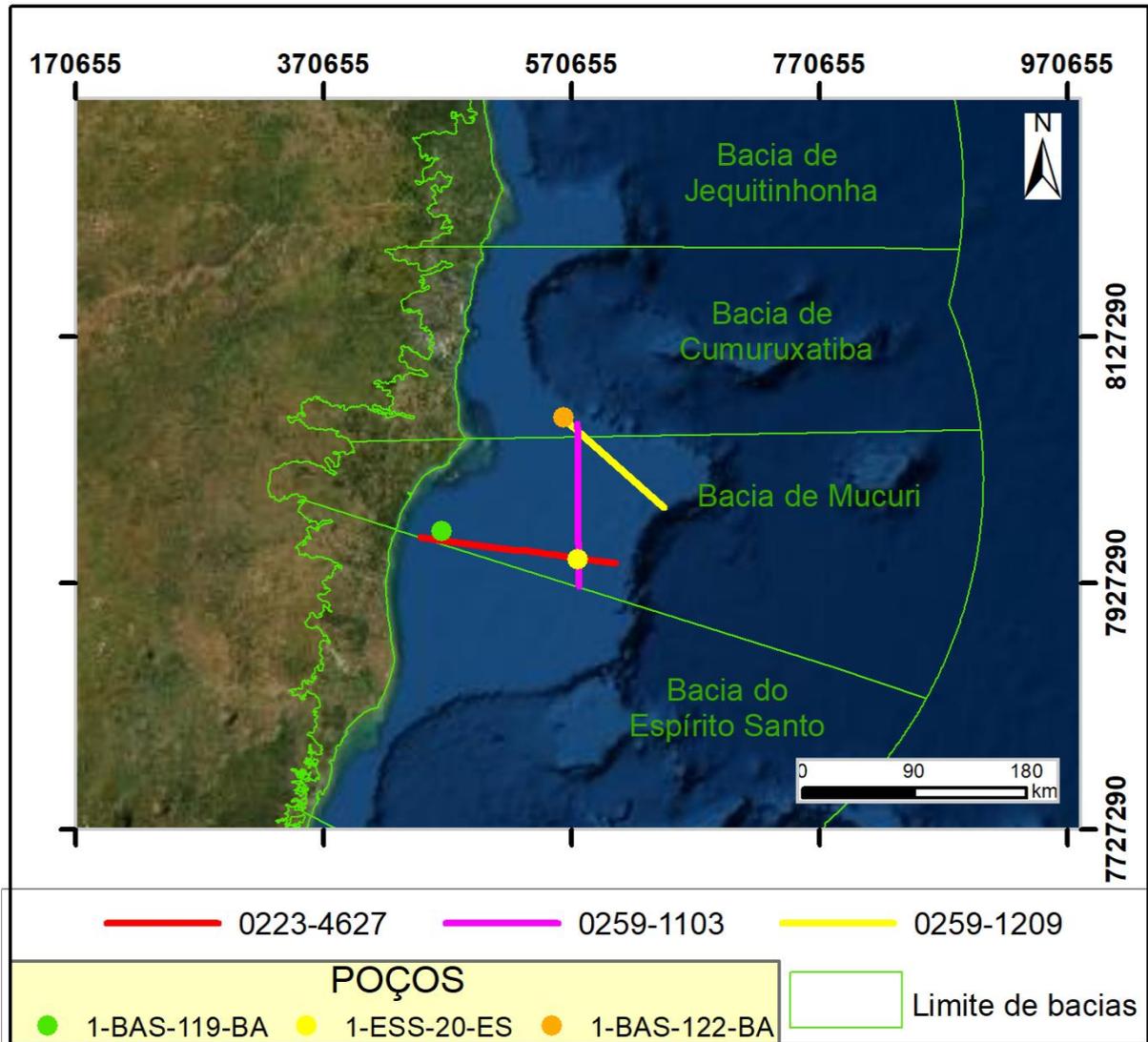
Figura 7 - Mapa de localização das seções sísmicas



4.4 POÇOS

Os dados de poços foram cedidos pela ANP. A localização dos poços é dada pela Figura 8. O poço 1-BAS-199-BAS (ANEXO I) está localizado na porção sudoeste da Bacia de Mucuri e possui profundidade de 3135 metros. O poço 1-ESS-20-ES (ANEXO II) se localiza na porção centro-sul da bacia e possui 2136 metros de profundidade. O poço 1-BAS-122-BA (ANEXO III) localiza-se na Bacia de Cumuruxatiba e possui 3594 metros de profundidade.

Figura 8 - Mapa de localização das seções sísmicas (após recorte) e dos poços



5 METODOLOGIA

5.1 ANOMALIAS DA GRAVIDADE

Leituras de gravidade são geralmente influenciadas por cinco fatores: latitude, elevação, topografia do terreno emerso, marés terrestres e variações de densidade na subsuperfície. Deste modo, precisamos executar correções para reduzir as leituras de gravidade a valores que as mesmas apresentariam em uma superfície equipotencial de dados (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990).

5.1.1 Anomalia ar-livre

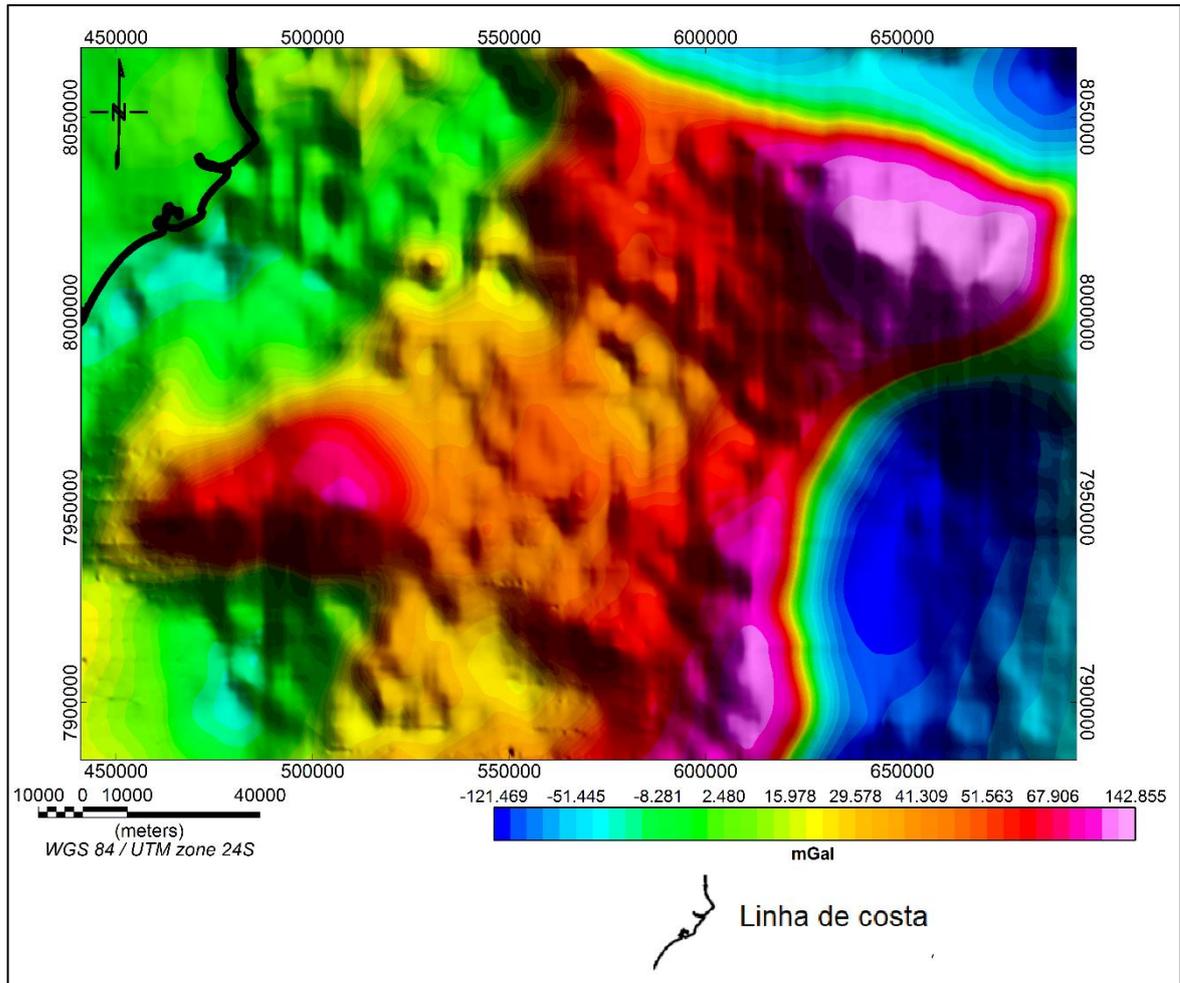
O cálculo da anomalia ar-livre, ou anomalia *free-air*, é realizado a fim de corrigir o efeito da diminuição da aceleração da gravidade relacionado à altura do instrumento ao ar livre. Para efetuar esta correção, é levada em consideração a diferença de altura entre o ponto observado e o *datum*, desprezando a massa presente entre esses pontos. O mapa da anomalia ar-livre é gerado a partir da equação (LOWRIE, 2007):

$$g_{fa} = g_a - g_l + 0,308596h \quad (9)$$

Sendo g_l , a correção de latitude; g_a , a gravidade absoluta; h , a altura da estação de medida.

A interpolação dos dados se deu no menu *Grid and Image* no *software* Oasis Montaj. O mapa foi produzido a partir de um *grid* com tamanho de célula de 1250 metros, elaborado pelo método da mínima curvatura. O mapa é apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Mapa da anomalia ar-livre

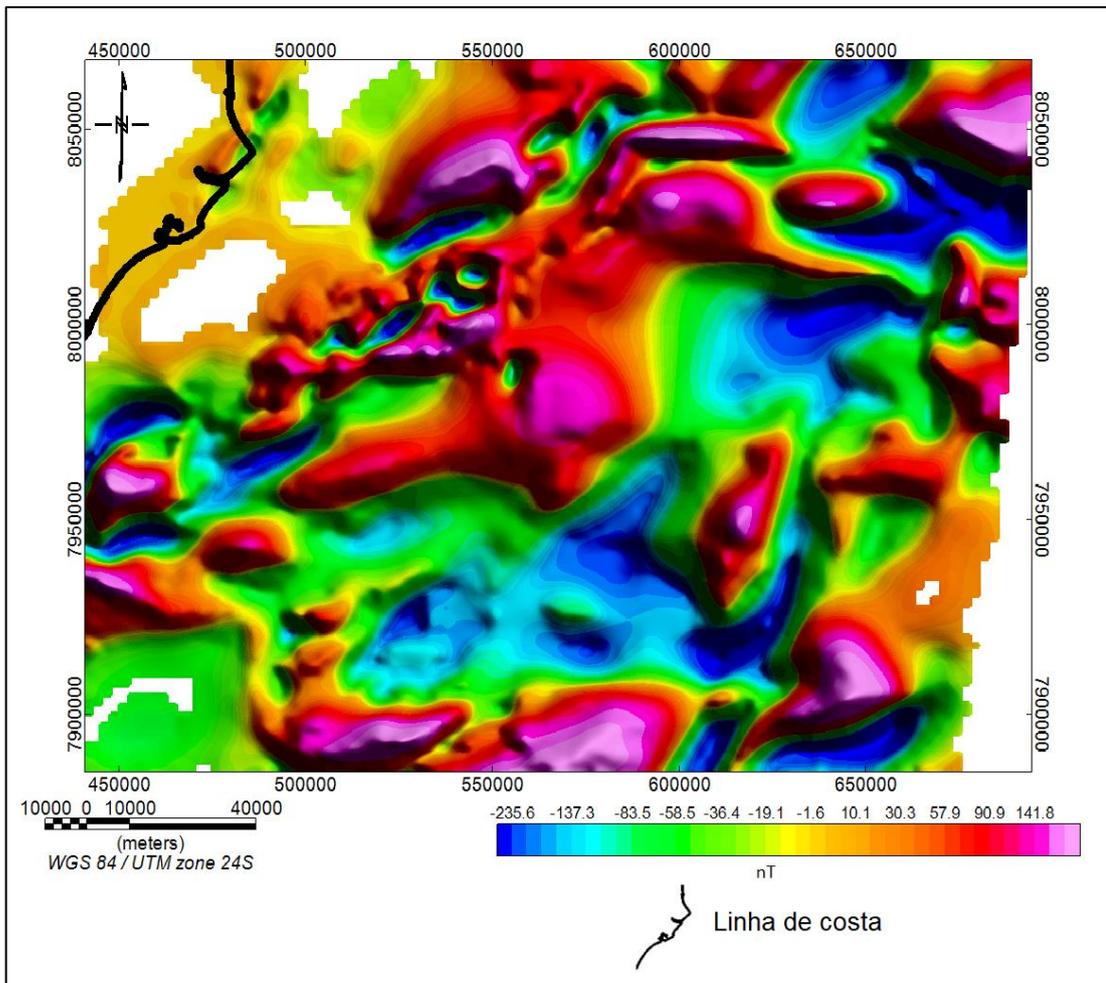


5.2 APLICAÇÃO DE FILTROS

Inicialmente foi produzida a interpolação dos dados referentes ao campo magnético anômalo no menu *Grid and Image* no *software* Oasis Montaj. O mapa (Figura 10) foi produzido a partir de um *grid* com tamanho de célula de 1250 metros, elaborado pelo método da mínima curvatura.

A aplicação dos filtros digitais descritos a seguir, foi realizada a partir do menu MAGMAP do *software* Oasis Montaj. Para a produção dos mapas, quando solicitado, foi utilizado o valor de declinação magnética igual a $-23,24384771^\circ$ W, de inclinação magnética igual a $-33,95713664^\circ$ e de intensidade do campo igual a 24132,3486 nT. Estes valores foram calculados levando em consideração o ponto central da área de estudo ($38,3226^\circ$ W; $18,2979^\circ$ S) e a data do levantamento magnético.

Figura 10 - Mapa do campo magnético anômalo



5.2.1 Redução ao polo

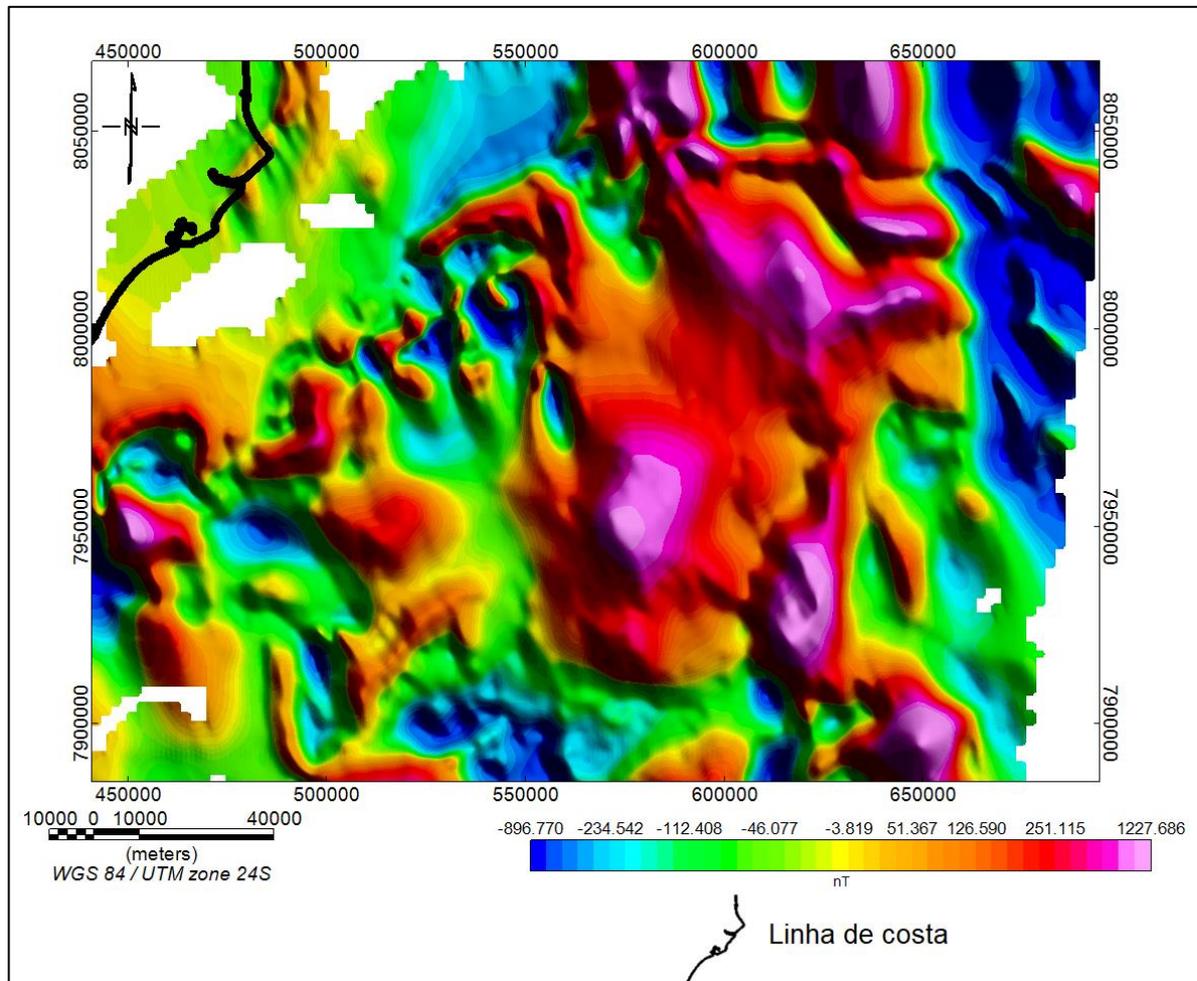
A técnica do filtro de redução ao polo foi desenvolvida por Baranov (1957). Segundo Hinze (1990), esta técnica é utilizada para remover o efeito de distorção gerado pela variação da inclinação e do efeito dipolar nos dados magnéticos. Este filtro desloca o máximo da anomalia, fazendo com que ela se localize exatamente sobre o corpo gerador. A técnica recalcula a intensidade dos valores magnéticos como se eles estivessem localizados nos polos magnéticos, onde a magnetização induzida é vertical. O objetivo é tornar a anomalia magnética independente da direção de indução do campo geomagnético. A aplicação deste filtro no domínio da frequência é apresentada pela equação (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990):

$$L(\theta) = \frac{[\text{sen}(I) - i \cdot \cos(I) \cdot \cos(D - \theta)]^2}{[\text{sen}^2(Ia) + \cos^2(Ia) \cdot \cos^2(D - \theta)][\text{sen}^2(I) + \cos^2(I) \cdot \cos^2(D - \theta)]} \quad (10)$$

Sendo I , a inclinação geomagnética; Ia , a inclinação para a correção de amplitude; D , a declinação do campo geomagnético da região na data do levantamento; θ , a latitude polar. A inclinação para a correção de amplitude na redução ao polo é, geralmente, calculada empiricamente como sendo o complemento da inclinação magnética ($Ia = 90 - I$).

O mapa magnético reduzido ao pólo é apresentado na Figura 11.

Figura 11 - Mapa magnético reduzido ao pólo



5.2.2 Primeira derivada vertical

De acordo com Blakely (1996), a primeira derivada vertical é um procedimento

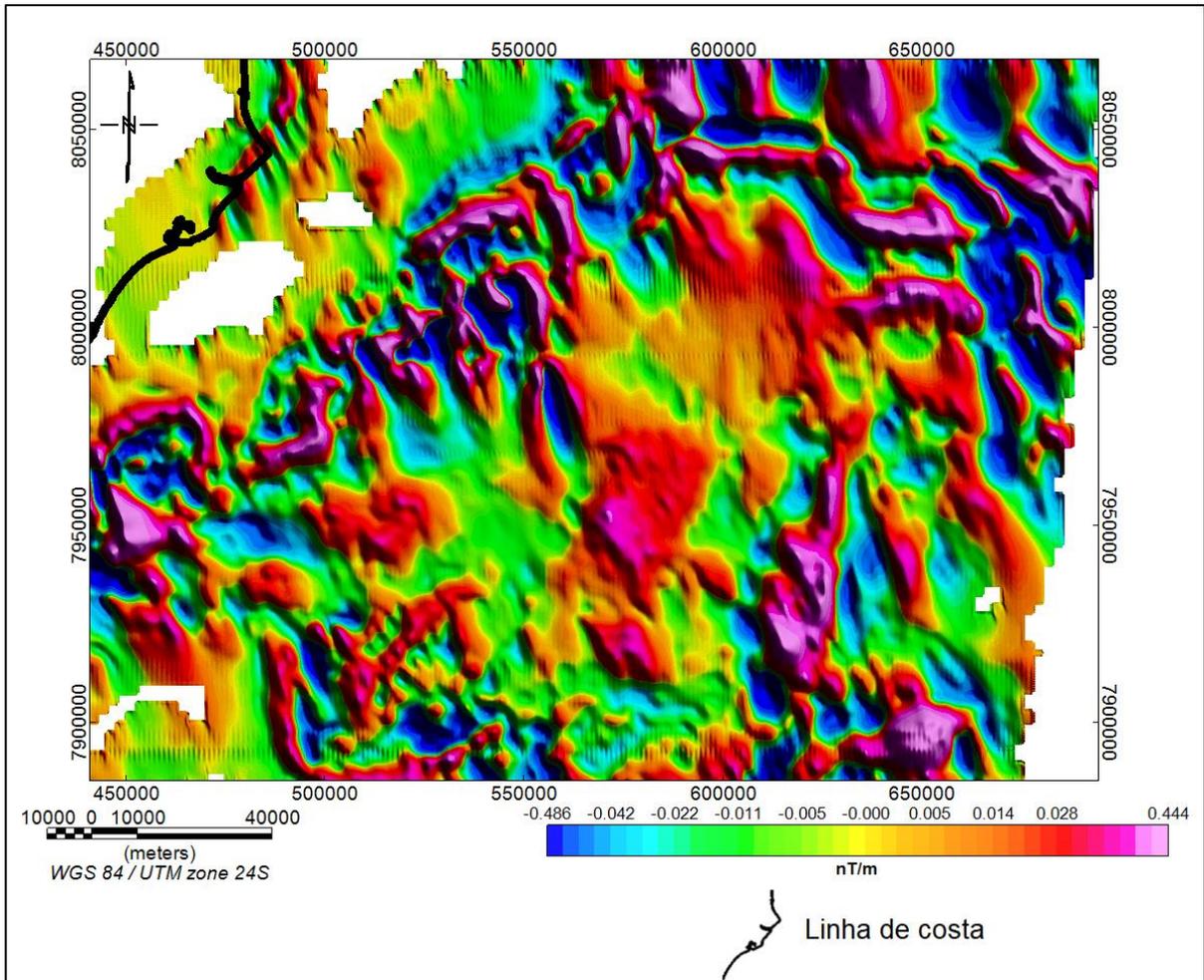
teórico-matemático aplicado com o objetivo de realçar os contatos a partir das anomalias magnéticas, para na fase de interpretação serem associadas a estruturas geológicas. A primeira derivada corresponde à amplitude do espectro da anomalia multiplicada pelo grau da ordem da derivada. Este processo consiste na subtração do valor magnético do campo de dois pontos próximos e posterior divisão do resultado pela separação vertical entre eles. Desta forma, dependendo do grau da ordem da derivada, identificaremos estruturas de fontes mais profundas ou fontes mais rasas. A aplicação do filtro de primeira derivada vertical é apropriada para realçar os componentes de fontes mais rasas, eliminando as feições de componentes de fontes intermediárias e profundas. A derivada vertical é dada pela equação (TELFORD; GELDART; SHERIFF, 1990):

$$F = \left[\frac{\partial^n T}{\partial z^n} \right] = \left| \sqrt{(K_x)^2 + (K_y)^2} \right|^n \cdot F|T| \quad (11)$$

Sendo T , o campo magnético anômalo; n , a ordem da derivada. k_x e k_y ; os números de onda nas direções x e y , respectivamente.

O mapa magnético da primeira derivada vertical é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Mapa magnético da primeira derivada vertical



5.2.3 Amplitude do sinal analítico

A amplitude do sinal analítico é obtida pela combinação dos gradientes horizontal e vertical do campo magnético anômalo. Seus resultados são dependentes da profundidade, extensão e ângulo de mergulho do corpo, além da direção do campo magnético da Terra (BLAKELY, 1996).

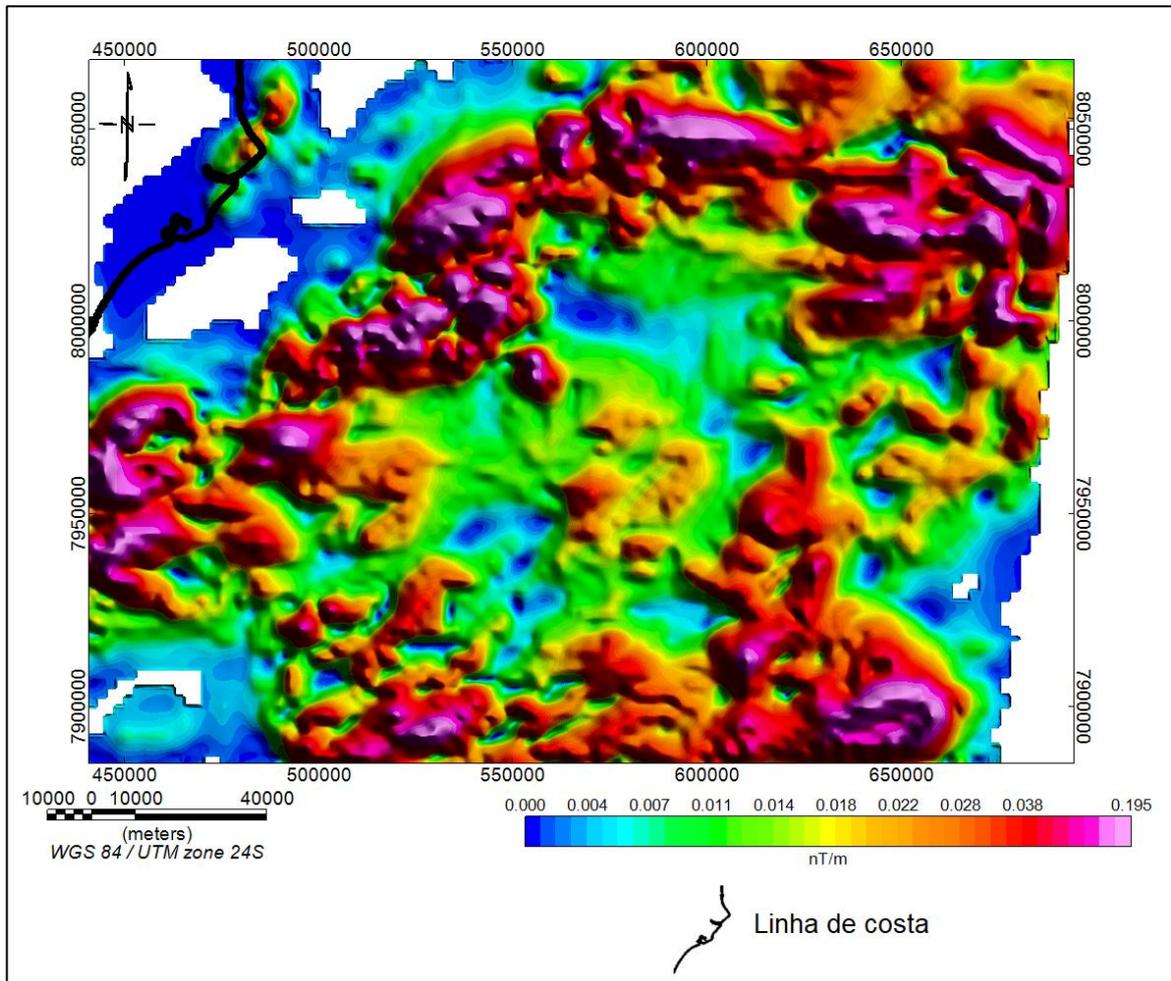
Este método define a forma geométrica do corpo magnético. Quando os corpos são rasos, a utilização do filtro possibilita posicionar as amplitudes máximas em cima das bordas dos corpos. Mas com o aumento da profundidade, os valores máximos são deslocados (LI, 2006). A amplitude do sinal analítico é dada pela equação (ROEST; VERHOEF; PILKINGTON, 1992):

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left[\frac{\partial T}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial T}{\partial y}\right]^2 + \left[\frac{\partial T}{\partial z}\right]^2} \quad (12)$$

Sendo T , o campo magnético observado; $\frac{\partial T}{\partial x}$, $\frac{\partial T}{\partial y}$ e $\frac{\partial T}{\partial z}$, as três componentes ortogonais do campo magnético anômalo.

O mapa magnético da amplitude do sinal analítico é apresentado na Figura 13. O mapa da amplitude do sinal analítico foi produzido a partir do mapa da redução ao polo, a fim de serem desconsiderados os efeitos da magnetização induzida.

Figura 13 - Mapa magnético da amplitude do sinal analítico



5.3 DECONVOLUÇÃO DE EULER

A deconvolução de Euler proporciona estimativas automáticas de localização e profundidade das fontes. A deconvolução é bastante utilizada na interpretação de dados magnéticos, porque não requer nenhuma informação acerca do vetor de magnetização. O cálculo da deconvolução de Euler é apresentado pela equação (REID et al., 1990; THOMPSON, 1982):

$$(x - x_0) \frac{\partial T}{\partial x} + (y - y_0) \frac{\partial T}{\partial y} + (z - z_0) \frac{\partial T}{\partial z} = N(B - T) \quad (13)$$

Sendo x_0 , y_0 , z_0 , a posição da fonte magnética; T , o valor do campo total detectado em (x, y, z) ; B , o valor regional do campo total; N , o grau de homogeneidade, também podendo ser definido como valor do índice estrutural (SI).

O parâmetro mais crítico na deconvolução de Euler é o grau de homogeneidade N . Este é um fator relativo ao campo magnético e seus componentes do gradiente, para a localização da fonte. Essencialmente, o SI é a medida da taxa de decaimento da anomalia com a distância entre a fonte e o ponto de medida, ou seja, representa um indicador da forma geométrica do corpo alvo. Assim, alterando o valor de N , pode-se estimar a geometria e a profundidade de fontes magnéticas (THOMPSON, 1982). A relação entre os valores dos índices estruturais e as geometrias são apresentadas na Tabela 3. As soluções para falhas e contatos são apresentadas na Figura 14 e na Figura 15, respectivamente.

Tabela 3 - Índices estruturais para corpos magnéticos

Valor do Índice Estrutural	Geometria
0,0	Contato
0,5	Falha de grande rejeito
1,0	Soleira/dique
2,0	Chaminé
3,0	Esfera

As soluções da Deconvolução de Euler foram analisadas integralmente às outras modalidades de dados na etapa de modelagem gravimétrica. As soluções para falhas possibilitaram a relação com estruturas identificadas na interpretação sísmica. As soluções para contatos auxiliaram na identificação do topo do embasamento.

Figura 14 - Mapa de soluções de deconvolução de Euler para contatos (SI=0)

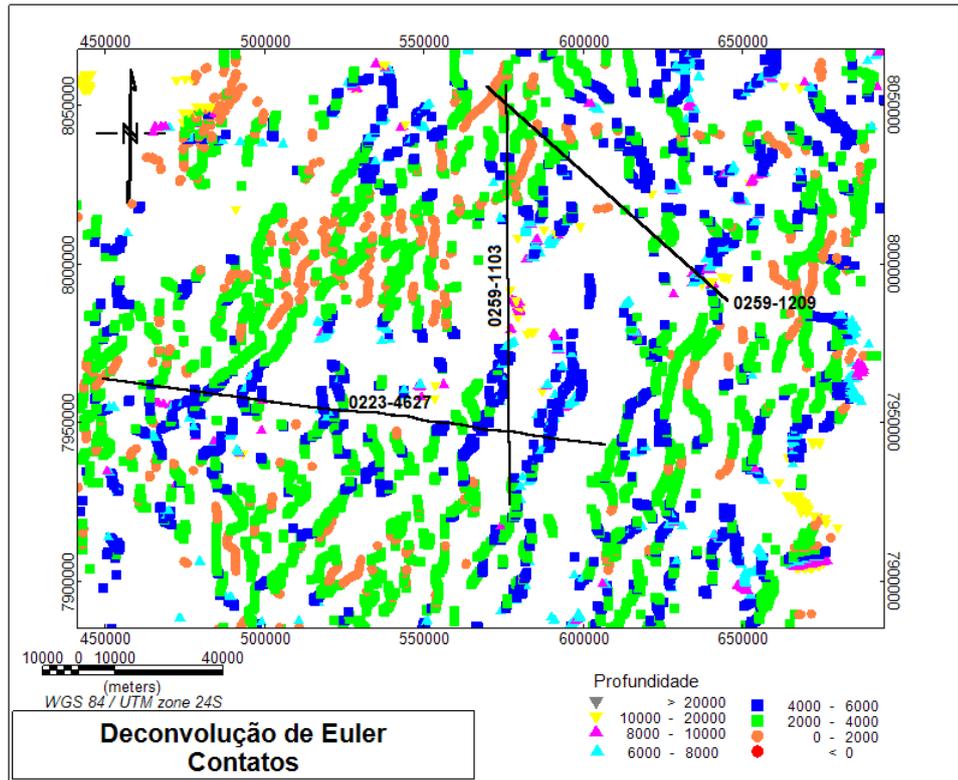
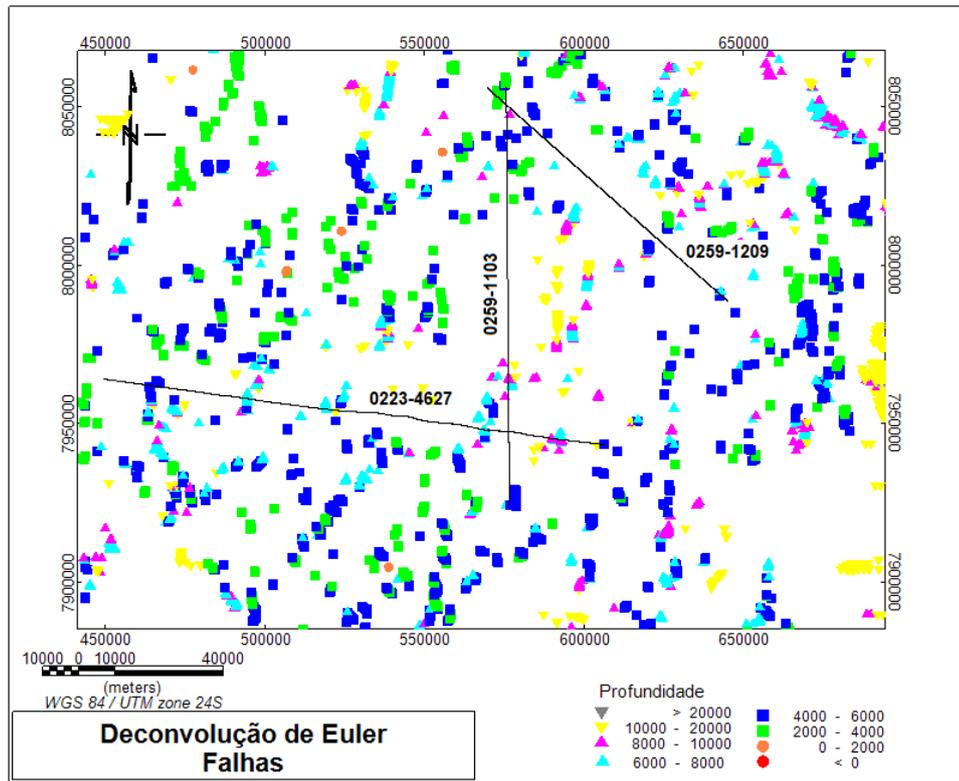


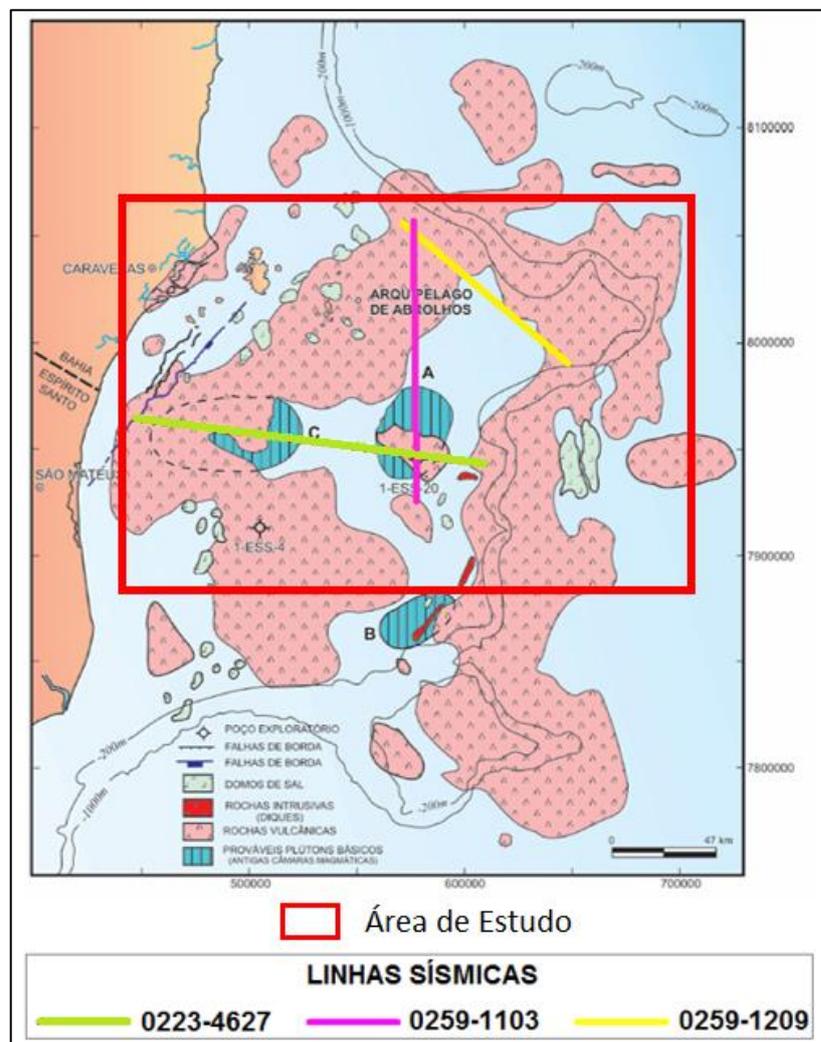
Figura 15 - Mapa de soluções de deconvolução de Euler para falhas de grande rejeito (SI=0,5)



5.4 INTERPRETAÇÃO SÍSMICA

As seções originais foram interpretadas considerando somente a porção interior à Bacia de Mucuri e sobre a plataforma continental (Figura 8). Para melhor visualizar a diferença das porções interpretadas frente às seções completas, podem ser analisadas comparativamente a Figura 7 e a Figura 8. A relação das seções sísmicas com o trabalho de Sobreira e França (2006) está apresentada na Figura 16. O retângulo vermelho referente a área de estudo se refere à área de abrangência dos dados de métodos potenciais.

Figura 16 - Localização das seções sísmicas cortadas, sobre “Um modelo tectono-magnético para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos” de Sobreira e França (2006)

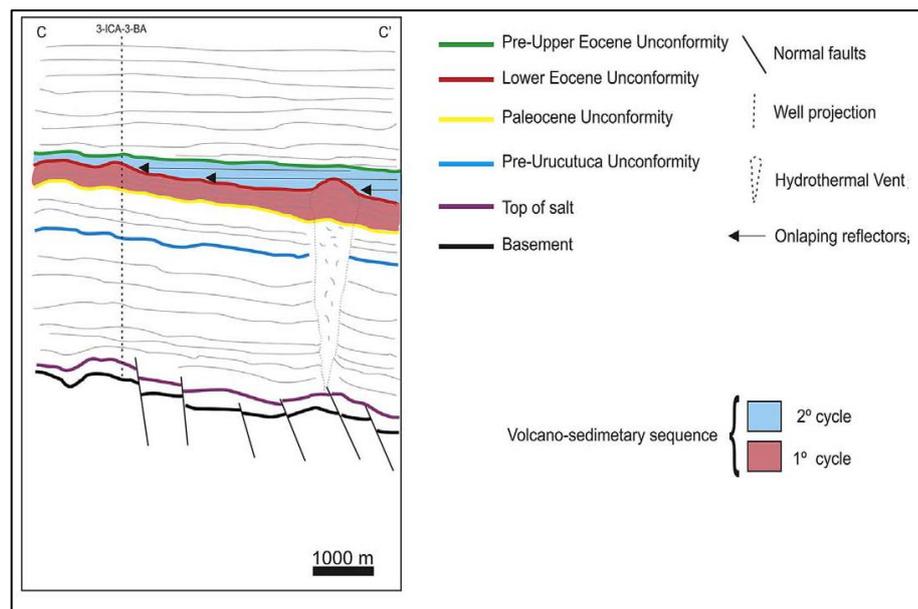


Fonte: adaptado de Sobreira e França (2006).

A interpretação das três seções sísmicas foi realizada com o software OpendTect. As seções foram analisadas em três atributos: amplitude, pseudorelevo e energia. Foram identificadas duas superfícies: topo do embasamento e Discordância do Paleoceno. Estas superfícies estão sinalizadas nas cartas estratigráficas (Figura 3 e Figura 4). As seções sísmicas (em tempo) e os dados de poço (em profundidade) foram amarrados. Marcadores sísmicos com maior impedância (representativos de um contraste de rochas ígneas e sedimentares) foram considerados para essa amarração.

Oliveira, Oliveira e Pereira (2018) reconheceram na região, dois ciclos vulcano-sedimentares relacionados ao vulcanismo de Abrolhos, designados de Ciclo 1 – englobando um pulso ígneo - e Ciclo 2 – englobando dois pulsos ígneos. O limite entre os dois ciclos é dado pela Discordância do Eoceno Inferior (Figura 17). O Ciclo 1 ocorre após a Discordância do Paleoceno. Logo, para o presente trabalho, em profundidades onde os poços registraram a presença de basaltos da Formação Abrolhos, considerou-se idades posteriores ao Cretáceo.

Figura 17 - Modelo elaborado a partir de um volume sísmico 3D



Fonte: Oliveira, Oliveira e Pereira (2018)

Na seção 0223-4627 (Figura 18), foram utilizados dados de dois poços para amarração: 1-BAS-119-BA (ANEXO I) e 1-ESS-20-ES (ANEXO II). O poço 1-BAS-119-BA possui sedimentos da Formação Caravelas e da Formação Rio Doce,

seguidos, ao longo do restante do perfil, de intercalações entre rochas vulcânicas da Formação Abrolhos e sedimentos da Formação Urucutuca. A última ocorrência de rochas vulcânicas se dá em 3110 metros, profundidade devendo ser considerada como menor que a Discordância do Paleoceno. Ao final deste poço, há a presença de halita. Desta forma, o limite superior desta ocorrência de halita foi amarrado a Discordância do Paleoceno. O poço 1-ESS-20-ES possui sedimentos da Formação Caravelas até 2000 metros de profundidade. A partir desta profundidade, ocorrem rochas vulcânicas intercaladas com sedimentos até 2150 metros, profundidade final do poço.

Na seção 0259-1103 (Figura 19), utilizou-se para amarração, dados do poço 1-ESS-20-ES (ANEXO II). O poço, descrito no parágrafo anterior, se encontra próximo ao cruzamento desta seção com a seção 0223-4627.

Na seção 0259-1209 (Figura 20), foram utilizados dados do poço 1-BAS-122-BA (ANEXO III) para amarração. Há a intercalação entre sedimentos da Formação Caravelas e Formação Rio Doce até 2580 metros. A partir deste ponto até a profundidade final do poço, 3365 metros, ocorrem sedimentos da Formação Urucutuca. Este poço, em toda sua porção, representa unidades litológicas ocorrendo acima da Discordância do Paleoceno.

Figura 18 - Seção sísmica 0223-4627, em amplitude, interpretada

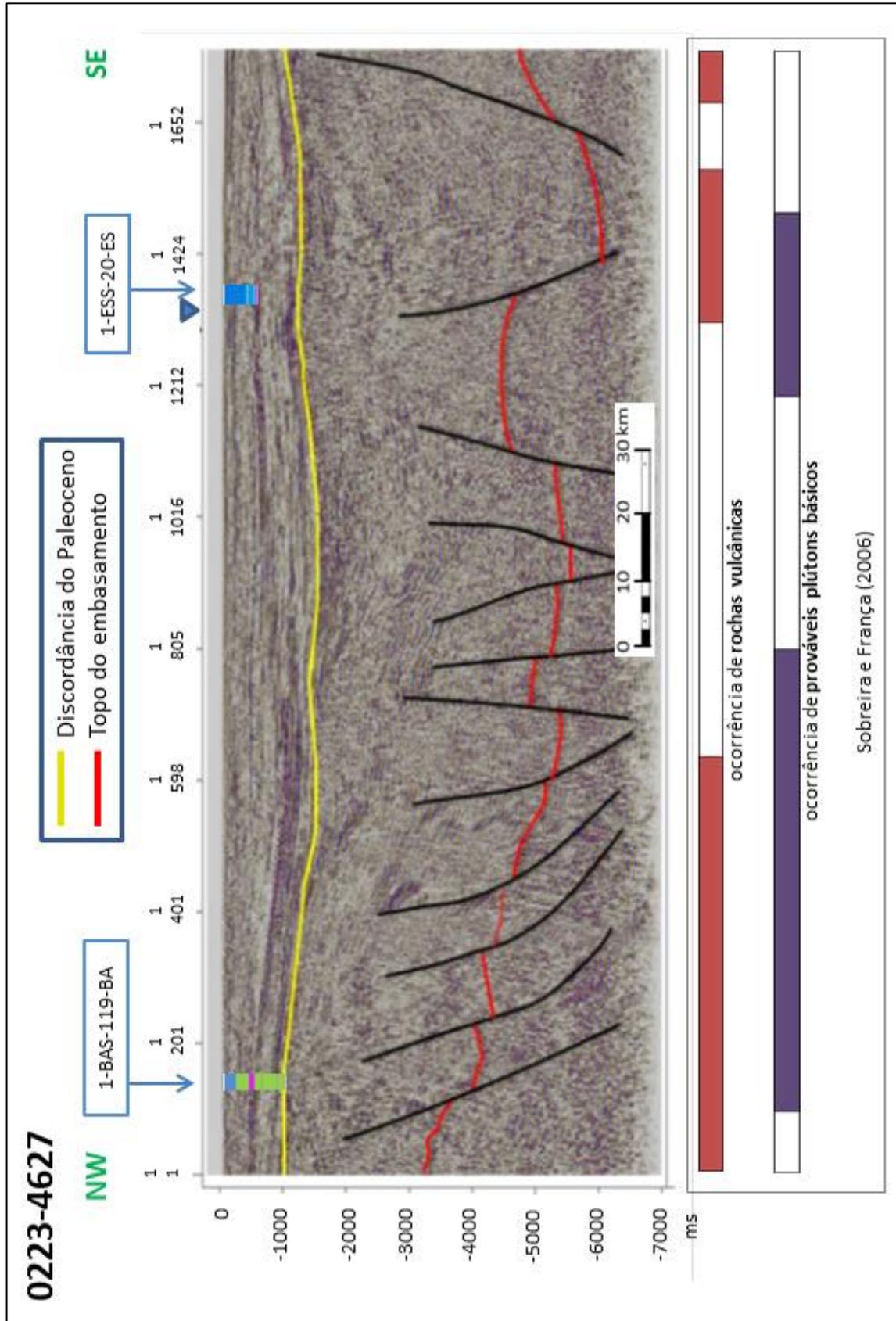


Figura 19 - Seção sísmica 0259-1103, em amplitude, interpretada

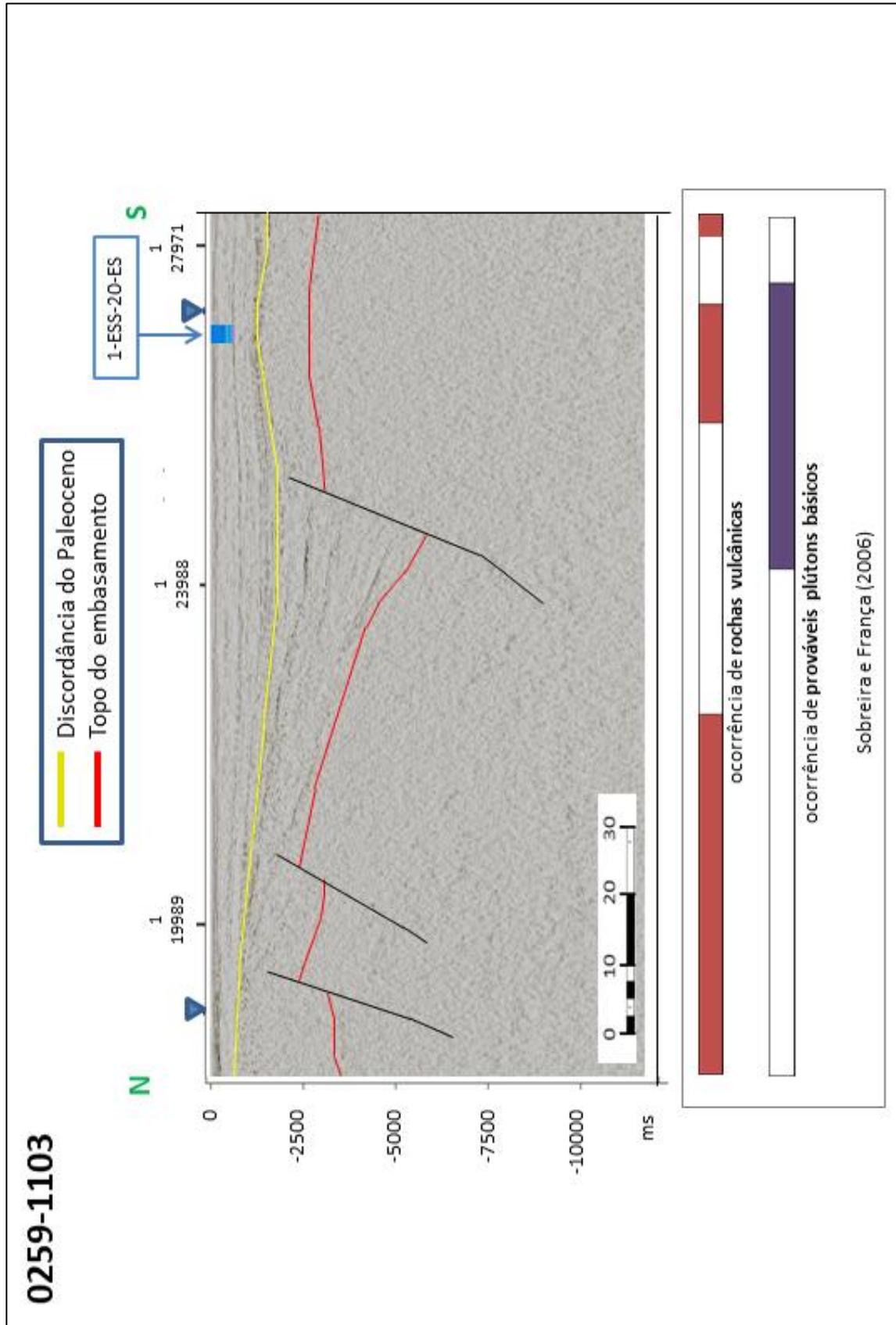
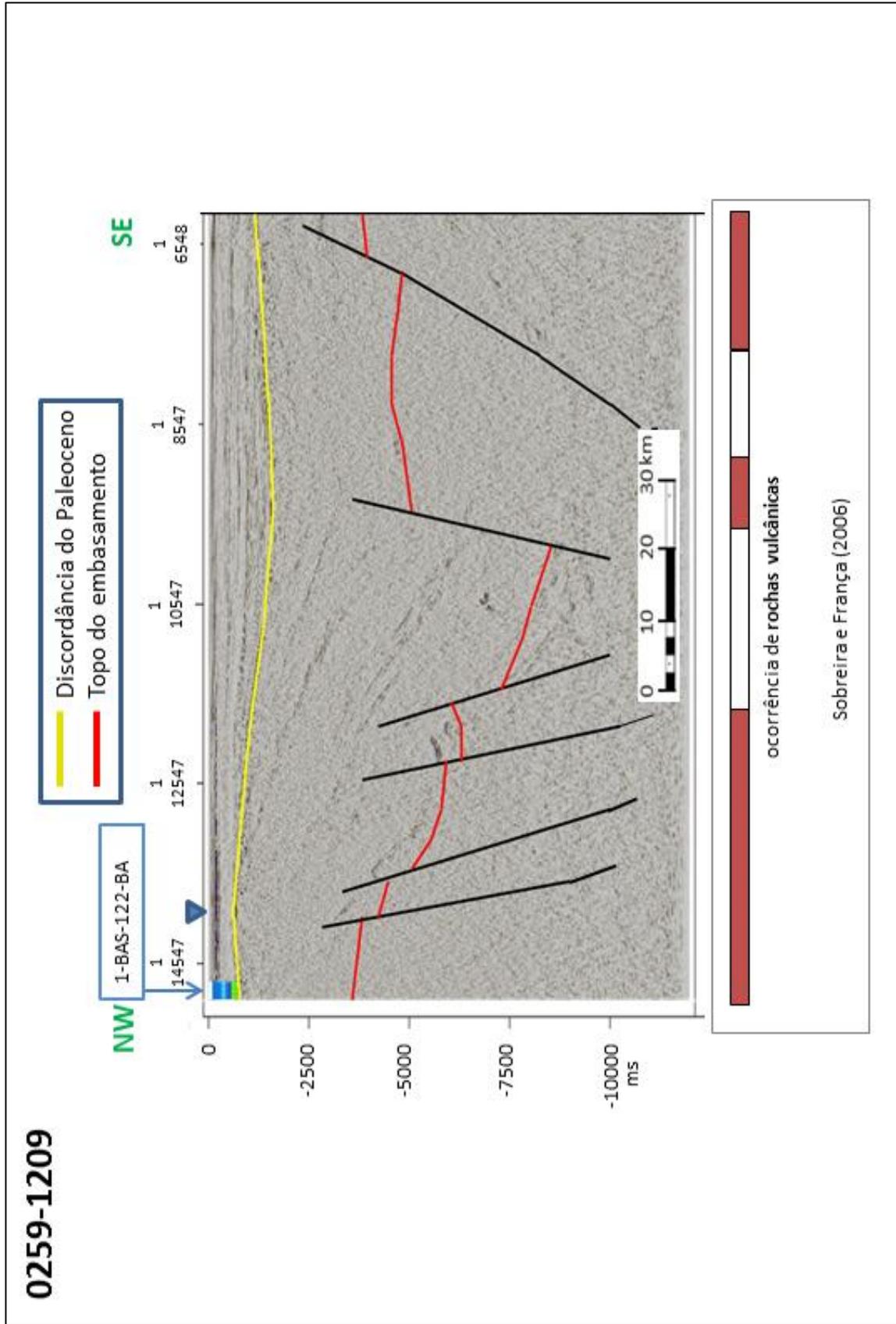


Figura 20 - Seção sísmica 0259-1209, em amplitude, interpretada



6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 ASSINATURA GEOFÍSICA

A identificação e análise das assinaturas magnetométrica e gravimétrica possibilitam a interpretação integrada de unidades e lineamentos geofísicos, visando o estudo da evolução tectônica da região. Neste trabalho, a análise das assinaturas foi realizada a partir da identificação visual de domínios e lineamentos.

A maioria dos lineamentos se associa a planos de deslocamento, devido a relação com padrões de cisalhamento ou fraturas. Assim sendo, os lineamentos também estariam interconectados às estruturas em profundidade. (BOUCHER, 1995; O'DRISCOLL, 1986; SOARES et al., 1982).

6.1.1 Assinatura gravimétrica

A definição dos domínios (Figura 21) e lineamentos (Figura 22) gravimétricos foi baseada no mapa da anomalia ar-livre.

O Domínio Gravimétrico (DG1) ocorre como o maior domínio delimitado. Uma extensa área recobre a porção central, centro-norte, sudoeste e centro-sul. O domínio é localizado na plataforma continental, marcando ao longo de sua borda leste, com exatidão, o limite entre a plataforma continental e a planície abissal. Neste domínio, os valores de gravidade são elevados, correspondendo ao seu mínimo e máximo, 4,280 mGal e 142,855 mGal, respectivamente. Neste domínio, foram identificados três altos gravimétricos, representados por ag1, ag2 e ag3. ag1 apresenta valor máximo de 77,081 mGal. ag2 possui seu máximo valor representado por 142,855 mGal. ag3 apresenta valor máximo de 107,901 mGal. Quando comparamos espacialmente este domínio com os dados de Sobreira e França (2006), percebemos que os altos gravimétricos correspondem exatamente a zonas de rochas vulcânicas. Na região de ag1, Sobreira e França (2006) documentaram uma sobreposição de rochas vulcânicas sobre um provável plúton básico, neste caso específico o Plúton C.

O Domínio Gravimétrico 2 (DG2) ocorre na forma de uma zona presente nas regiões noroeste, oeste e sudoeste, correspondendo às áreas mais próximas ao continente. O domínio é localizado sobre a plataforma continental. Os valores de

gravidade deste domínio variam de baixos a intermediários, correspondendo ao seu mínimo e máximo, -24.302 e 21,934 mGal, respectivamente. Este domínio, quando comparado ao modelo proposto por Sobreira e França (2006), nota-se não ocorrer a predominância de rochas vulcânicas.

O Domínio Gravimétrico (DG3) ocorre a partir dos limites a leste de DG1, correspondendo às áreas de planície abissal. Os valores de gravidade deste domínio possuem mínimo e máximo correspondendo a -121,469 e 15,441 mGal, respectivamente. Foram identificados dois baixos gravimétricos: bg1 e bg2. bg1 ocorre como um pequeno corpo circundante do extremo nordeste da área, com valor mínimo correspondente a -97,641 mGal. bg2 ocorre como um corpo alongado ao sudeste da área com seu mínimo correspondendo a -121,469 mGal. Nesta região, da mesma forma que no modelo de Sobreira e França (2006), não há evidência da presença de rochas vulcânicas.

A plotagem dos lineamentos gravimétricos em diagrama de roseta resultou em uma direção média de 3,2° (Figura 23).

Figura 21 - Mapa da anomalia ar-livre com a delimitação de domínios, altos e baixos gravimétricos

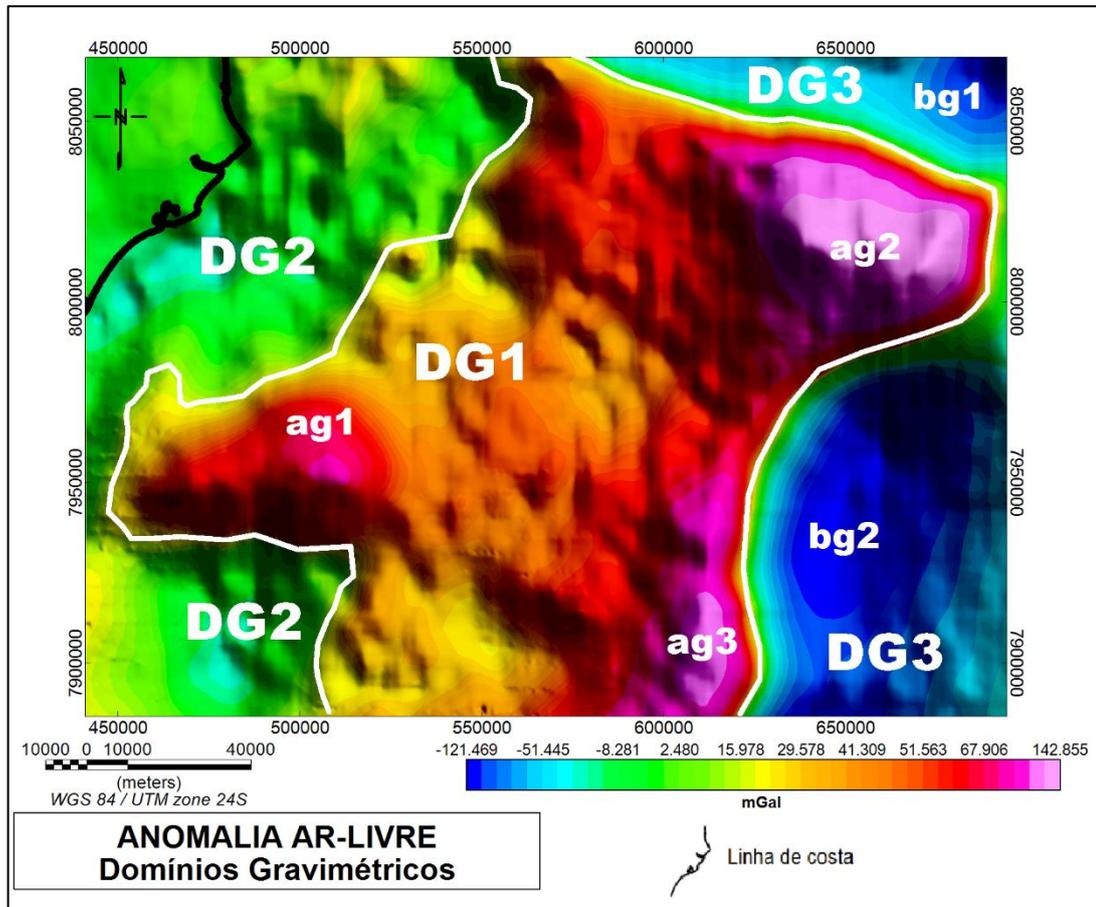


Figura 22 - Mapa da anomalia ar-livre com a delimitação de lineamentos gravimétricos

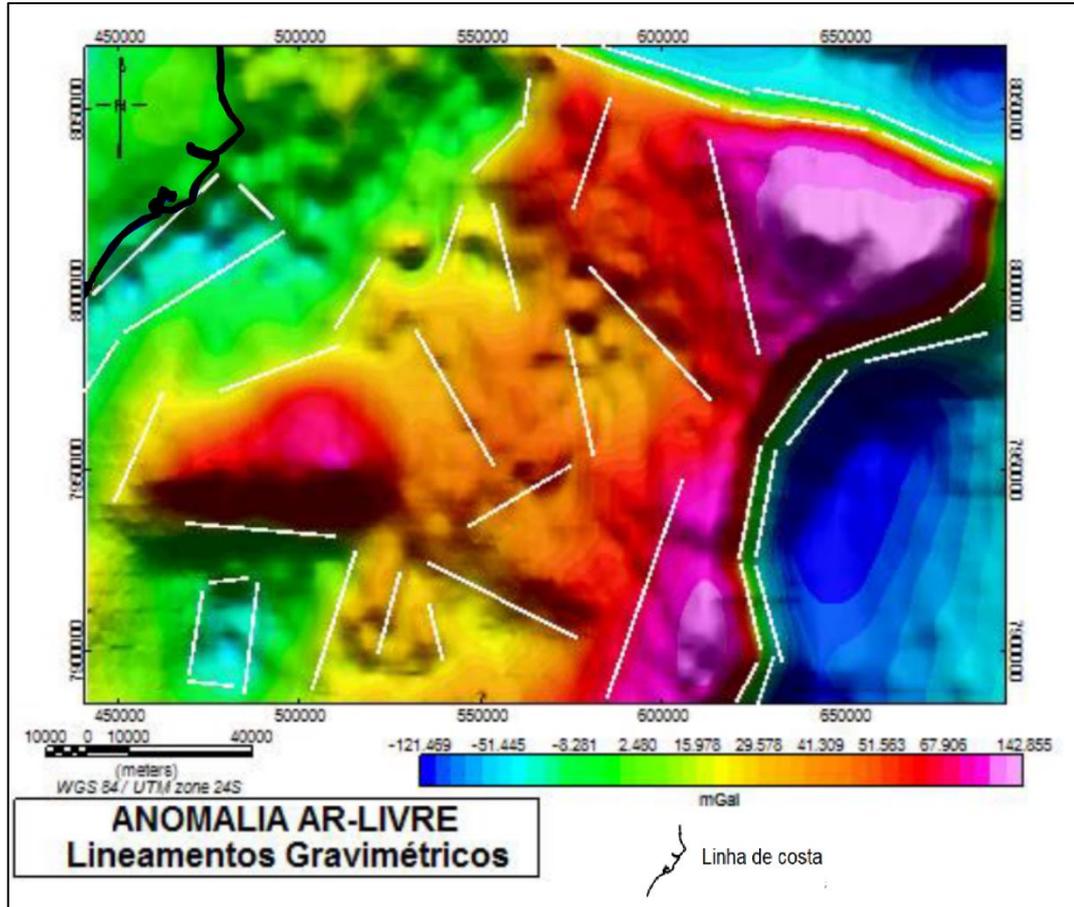
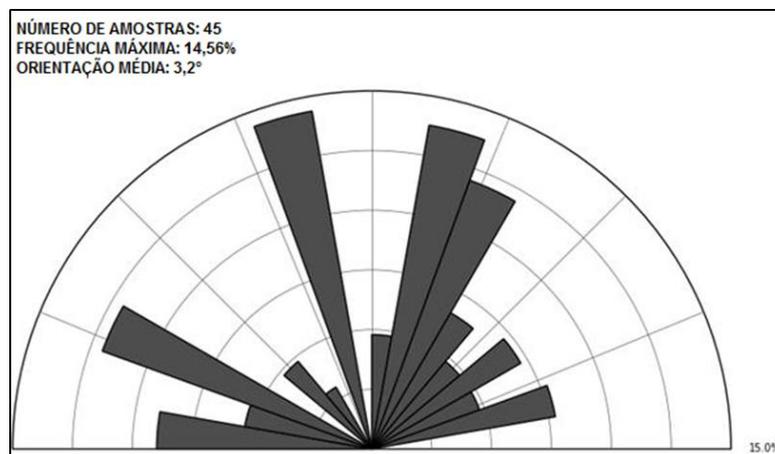


Figura 23 - Diagrama de Roseta produzido a partir dos lineamentos gravimétricos



6.1.2 Assinatura magnetométrica

A determinação de domínios magnetométricos foi realizada a partir do mapa da amplitude do sinal analítico (Figura 24). A determinação dos lineamentos magnetométricos foi realizada a partir do mapa da primeira derivada vertical (Figura 25).

O Domínio Magnetométrico 1 (DM1) ocorre na forma de uma feição presente em todas as zonas. Os valores mínimo e máximo, respectivamente, correspondem a 0,003 e 0,195 nT/m. O domínio, quando em comparação ao modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos elaborado por Sobreira e França (2006), se apresenta quase que inteiramente abrangente a unidade correspondente às rochas ígneas, tanto rochas vulcânicas quanto prováveis plútons básicos. Neste domínio observamos sete altos magnéticos, assim identificados: am1, am2, am3, am4, am5, am6, am7. am1 apresenta valor máximo de 0,123 nT/m. am2 apresenta valor máximo de 0,195 nT/m. am3 possui seu máximo valor igual a 0,126 nT/m. am4 apresenta valor máximo de 0,124 nT/m. am5 possui valor de 0,084 nT/m. am6 possui valor máximo de 0,104 nT/m. am7 possui valor máximo de 0,117 nT/m. Os altos magnéticos, de maneira geral são coincidentes em suas localizações a regiões de com valores mais elevados no mapa da anomalia ar-livre. Um ponto a ser destacado, se relaciona a dest1, presente na porção central de DM1, região a qual não há anomalia expressiva quando observamos os mapas gravimétricos. dest1 se posiciona de forma coerente com o Plúton A. Esta resposta não tão expressiva pode estar relacionada a uma cobertura sedimentar mais espessa nesta porção da bacia. A sugestão dos autores citados, de que o material vulcânico está distribuído de forma não uniforme é corroborada com a delimitação de DM1.

O Domínio Magnetométrico 2 (DM2), ocorre na porção próxima a linha de costa, na porção noroeste. Os valores mínimo e máximo, respectivamente, correspondem a 0,000 e 0,053 nT/m. Neste domínio, ocorrem três pequenas anomalias com valores mais elevados, alinhadas e dispostas na direção NE-SW. Os limites deste domínio, em comparação com o modelo de Sobreira e França (2006), coincidem com a unidade de ocorrência de rochas vulcânicas do Complexo Vulcânico de Abrolhos. Justamente neste domínio, ocorrendo de forma adjacente a este limite, Sobreira e França (2006) identificaram a presença de domos de sal.

O Domínio Magnetométrico 3 (DM3) ocorre, da mesma forma que D1, em todas as porções da área de estudo, desde as zonas mais proximais até a planície abissal. Os valores mínimo e máximo, respectivamente, correspondem a 0.000 e 0.027 nT/m. O domínio está associado a área no entorno de dest1, assumida por Sobreira e França (2006) como uma zona de depósito de rochas sedimentares e vulcanoclásticas mais jovens, bem como a uma região de nucleação de domos salinos devido aos menores efeitos de sobrecarga. A nucleação de domos salinos é elemento potencial na criação de trapas para um sistema petrolífero.

Os lineamentos identificados possuem direção média de $0,1^\circ$, conforme a Figura 26. A partir da observação do diagrama de roseta, podemos relacionar estas direções de lineamentos a antigas linhas de fraqueza, sendo falhas normais profundamente enraizadas, geradas durante a fase rifte. Sobreira e França (2006) assumem que este controle estrutural poderia ser postulado para o posicionamento das unidades vulcânicas, evidenciadas pelas orientações de colocação destas anomalias de orientação SW-NE. Isso pode ser observado analisando o posicionamento dos altos magnéticos.

Figura 24 - Mapa da amplitude do sinal analítico a partir da redução ao pólo com a delimitação de domínios, altos e baixos magnetométricos

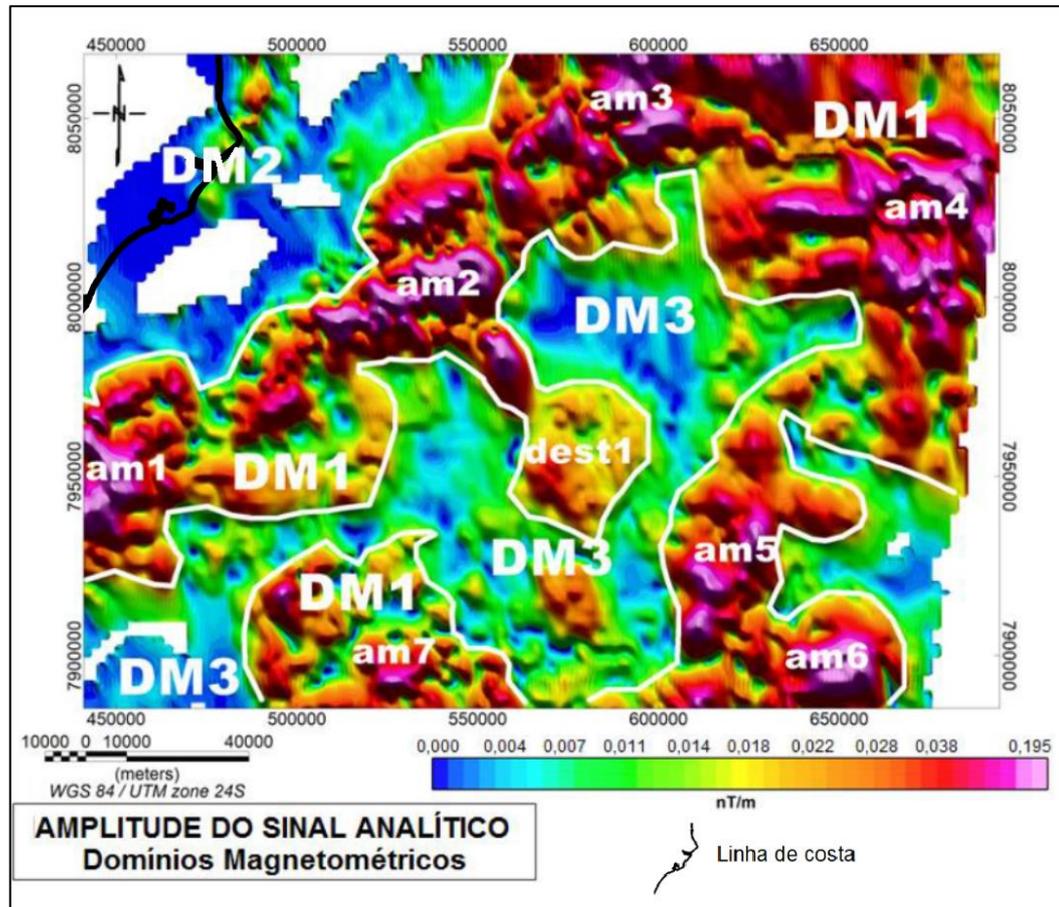


Figura 25 - Mapa da primeira derivada vertical com a delimitação de lineamentos magnetométricos

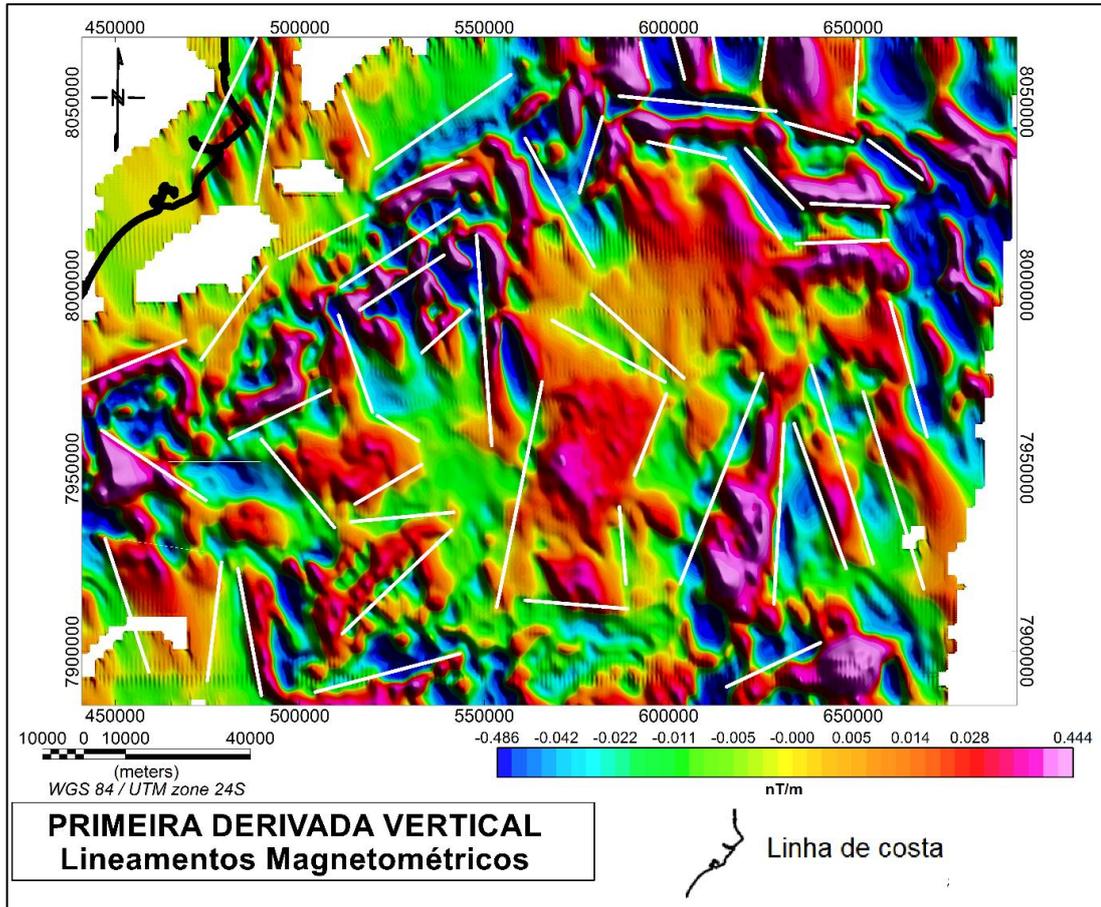
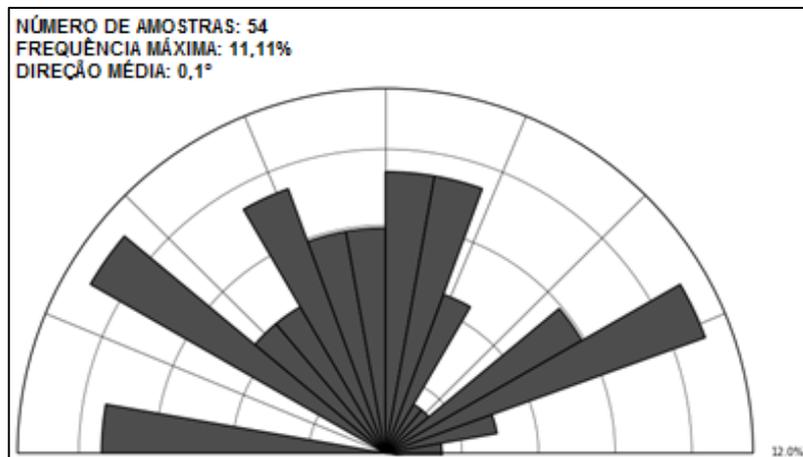


Figura 26 - Diagrama de Roseta produzido a partir dos lineamentos magnéticos



6.2 MODELAGEM GRAVIMÉTRICA

O objetivo da modelagem é encontrar um modelo que represente os dados observados. É importante salientar que os modelos baseados em dados geofísicos apresentam ambiguidade. Os modelos gravimétricos não são únicos, ou seja: para uma determinada curva de dados observados, admitem-se várias soluções ou modelos que representem a distribuição litológica e estrutural em subsuperfície, muitas das quais não são geologicamente possíveis (MIO, 2005). Assim sendo, a integração destes dados com análise sísmica prévia, dados de poço e com a inserção de parâmetros de densidade já conhecidos, ajudam a reduzir esta ambiguidade.

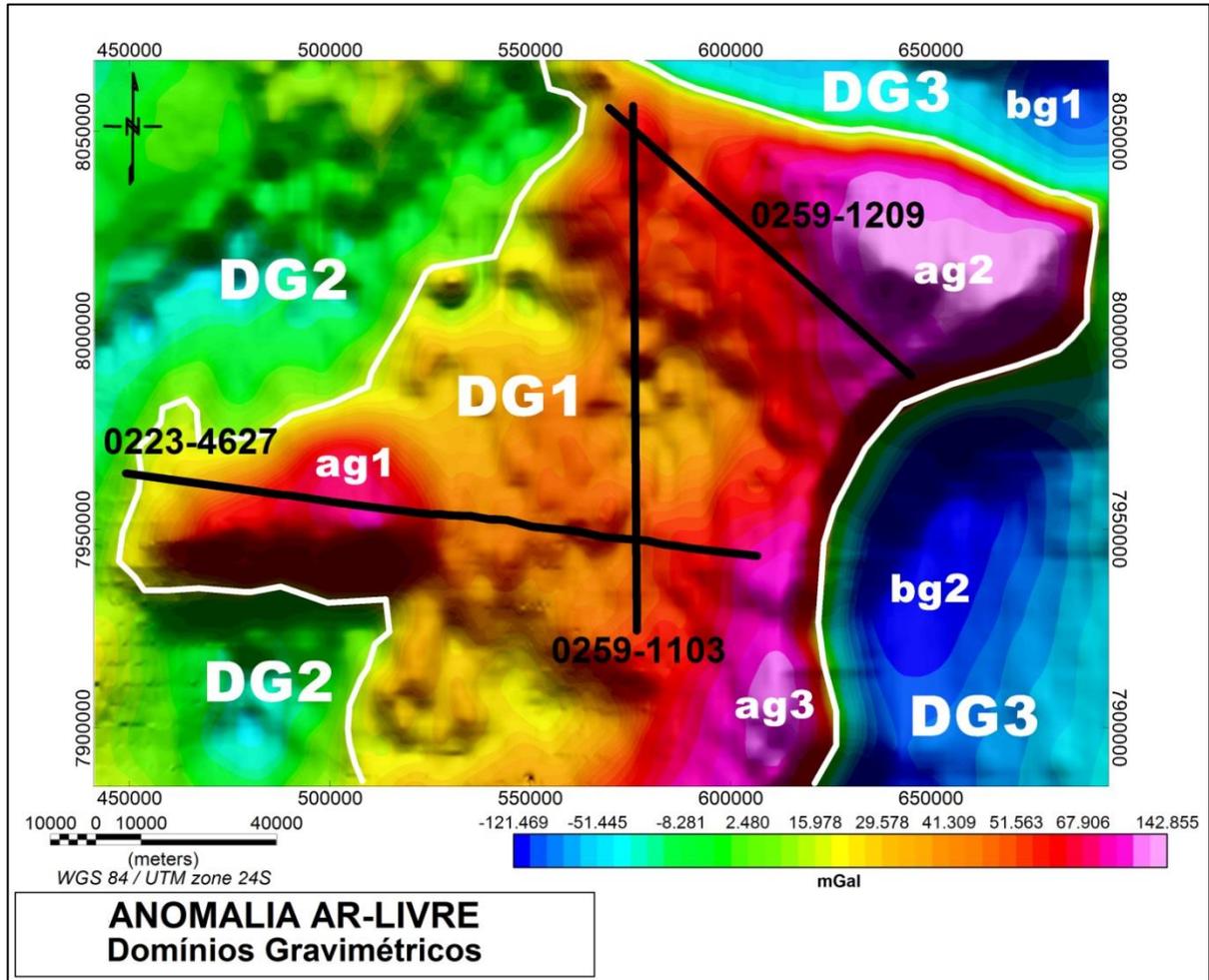
A modelagem gravimétrica foi realizada utilizando a ferramenta GM-SYS (NGA, 2004), baseada em Talwani, Worzel e Landisman (1959). Esta ferramenta permite criar e modificar interativamente, modelos geológicos 2D, proporcionando visualização e ajuste entre as curvas calculada e observada dos dados gravimétricos. A localização dos perfis modelados baseou-se na localização das seções sísmicas. A modelagem foi realizada a partir da anomalia ar-livre. A relação entre a localização dos perfis e o mapa gravimétrico é apresentada pela Figura 27.

O modelo inicial foi estabelecido a partir de superfícies identificadas na análise sísmica: Discordância do Paleoceno e Topo do Embasamento. Os poços foram plotados a fim de amarrar estas profundidades. A partir disso, foram plotadas as faixas de ocorrência de “rochas vulcânicas” e de “prováveis plútons básicos” nas seções, de acordo com “Um Modelo Tectono-Magmático para a Região de Abrolhos” de Sobreira e França (2006). As profundidades das soluções de deconvolução de Euler para os dados magnéticos foram importadas para análise conjunta durante a produção do modelo.

As unidades com profundidades menores que a Discordância do Paleoceno, foram denominadas como Sequência Pós-Cretácica (PK) ou Sequência Pós-Cretácica com Rochas Vulcânicas (PKV) – quando da presença de rochas vulcânicas do Paleógeno, verificada nos perfis de poços e no modelo de Sobreira e França (2006). Estas unidades representam parte da fase drifte da bacia. A primeira unidade compreende as sequências superiores à discordância do Paleoceno da Formação Urucutuca, a Formação Caravelas, a Formação Rio Doce e a Formação Barreiras. Na segunda unidade, além das formações anteriores, há a presença de rochas vulcânicas

da Formação Abrolhos.

Figura 27 - Localização das seções sísmicas e domínios gravimétricos sobrepostos ao mapa da anomalia ar-livre



A unidade intermediária entre o topo do embasamento e a Discordância do Paleoceno foi denominada de Sequência Cretácica (K). Esta unidade representa a fase rifte (Formação Cricaré e Formação Cabiúnas), pós-rifte (Formação Mariricu) e parte da fase drifte da bacia (Formação São Mateus, Formação Regência e sequências da Formação Urucutuca inferiores à Discordância do Paleoceno). A relação das superfícies com as unidades litoestratigráficas pode ser visualizada nas cartas estratigráficas (Figura 3 e Figura 4).

Sobreira e França (2006) reconheceram três plútons na região. A seleção das seções para este trabalho envolveu a região de dois plútons, mantidos neste trabalho com a mesma nomenclatura estabelecida pelos autores citados anteriormente: Plúton

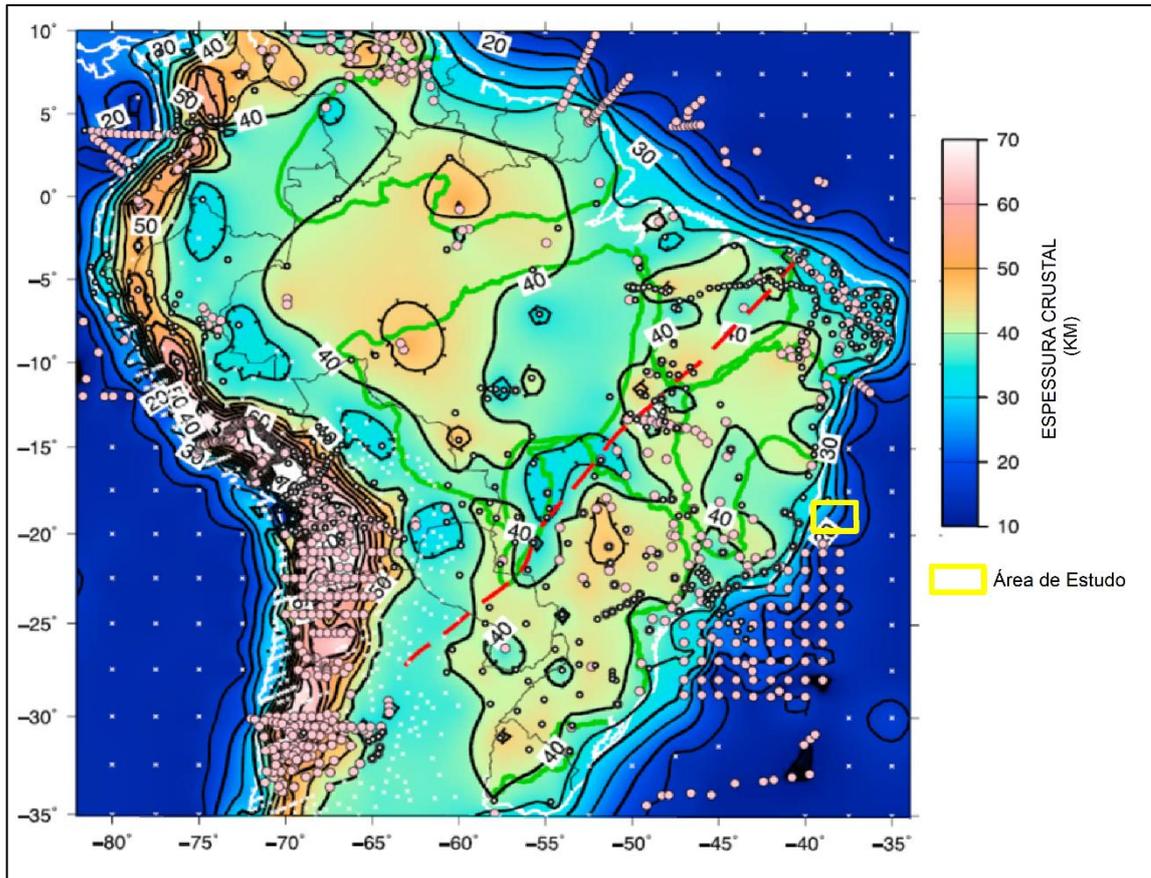
A e Plúton C. Estes plútons foram, neste trabalho, considerados como ocorrentes internamente ao embasamento da bacia.

A escolha dos valores de densidade utilizados na produção dos modelos gravimétricos, foi baseada em Telford, Geldart e Sheriff (1990). Os valores exatos das densidades utilizadas nos modelos estão apresentados na Tabela 4. O valor de densidade para a PK foi igual a 2,28 g/cm³. PKV foi considerada com densidade de 2,32 g/cm³. K foi assumida com um valor de densidade correspondente a 2,5 g/cm³. A unidade Embasamento possui densidade igual a 2,8 g/cm³ e corresponde ao embasamento da bacia, constituído por migmatitos, granulitos, gnaisses granatíferos e granitóides associados a rochas metamórficas de fácies granulito. A densidade do Plúton A foi assumida com valor igual a 2,9 g/cm³ e a densidade do Plúton C com valor igual a 3 g/cm³. A densidade do manto foi considerada com um valor de 3,3 g/cm³. Baseado em trabalhos anteriores, foi necessário estabelecer variações geométricas no relevo da Moho (ASSUMPÇÃO et al., 2013a, 2013b; RIVADENEYRA-VERA et al., 2019). De acordo com a Figura 28, pode-se perceber que a porção oeste da área de estudo, a qual as seções sísmicas estão localizadas, está condicionada a espessuras crustais entre 20 e 30 km. Foi necessário o prolongamento das unidades modeladas além dos limites inicial e final dos perfis, a fim de eliminar os efeitos de borda.

Tabela 4 - Valores de densidade utilizados para a modelagem gravimétrica

UNIDADE	DENSIDADE (g/cm ³)
Sequência Pós-Cretácica (PK)	2,28
Sequência Pós-Cretácica com Rochas Vulcânicas (PKV)	2,32
Sequência Cretácica (K)	2,5
Embasamento	2,8
Plúton A	2,9
Plúton C	3
Manto	3,3

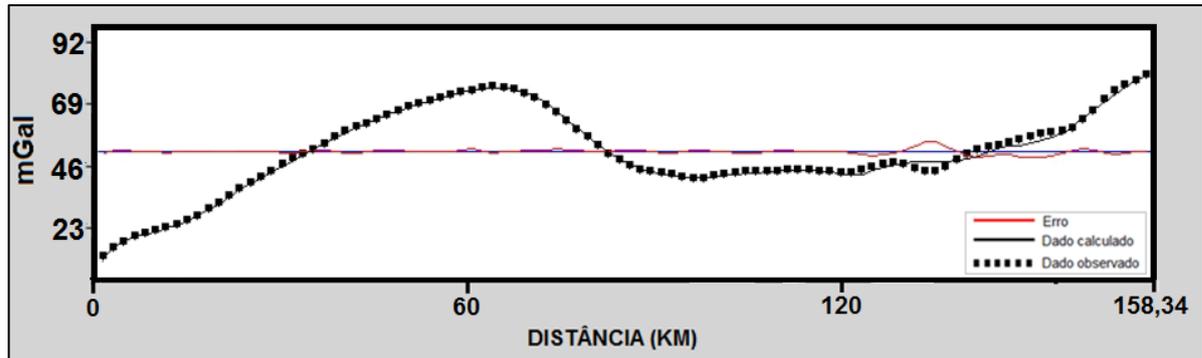
Figura 28 - Mapa atualizado da espessura crustal da América do Sul



Fonte: adaptado de Rivadeneyra-Vera et al. (2019).

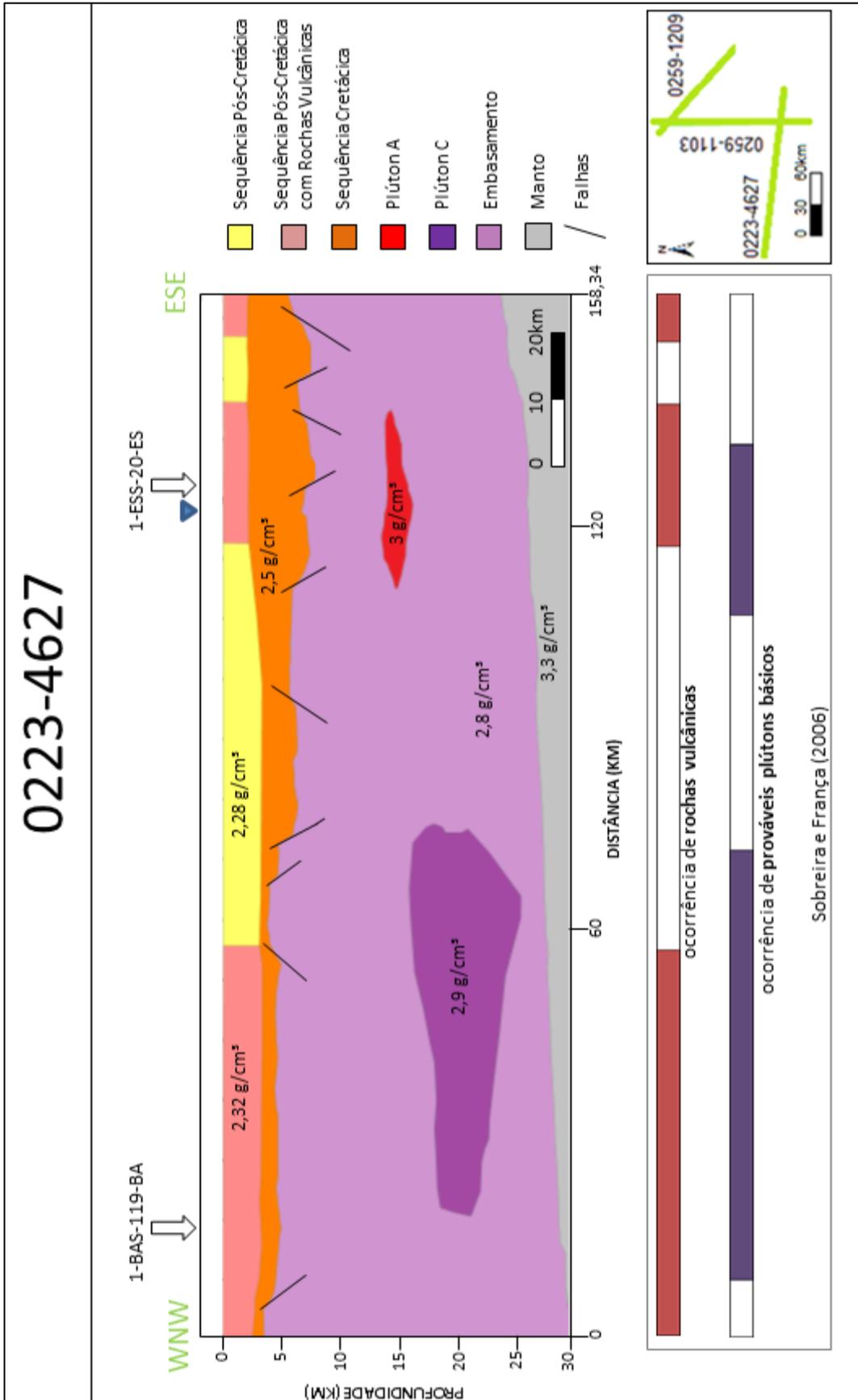
O modelo 0223-4627 está orientado na direção noroeste-sudeste e está situado na porção sul da Bacia de Mucuri, possuindo 158,34 km. É caracterizado por uma ampla anomalia gravimétrica na porção central e uma inflexão positiva ao final do perfil (Figura 29). O modelo (Figura 30) apresenta espessura máxima da Sequência Cretácica de 5446 metros. A espessura máxima entre as unidades superiores à discordância do Paleoceno é de 3573 metros. Desta forma, as espessuras das duas seqüências apresentam-se inferiores às espessuras máximas propostas na Carta Estratigráfica da Bacia de Mucuri de França et al. (2007) (Tabela 5). A anomalia positiva mais à esquerda está diretamente relacionada à presença do Plúton C, enquanto a anomalia positiva ao final da linha se relaciona com um alto do embasamento. Este alto do embasamento é verificado na seção sísmica e corresponde a um *horst* delimitado por falha de borda.

Figura 29 - Perfil gravimétrico da linha 0223-4627



Os poços utilizados para amarração a este modelo a partir das profundidades das formações foram: 1-BAS-119-BA e 1-ESS-20-ES. O poço 1-BAS-119-BA (ANEXO I) atinge 3150 metros de profundidade. Quase que a totalidade do perfil representa unidades litoestratigráficas com formações pós-cretácicas, também podendo ser verificada a ocorrência de rochas vulcânicas, corroborando com a presença da lateral da unidade PKV nesta porção – na zona pós Discordância do Paleoceno. A partir de 3110 metros de profundidade, é observada a presença de halita. O limite superior deste pacote de halita foi considerado para delimitar K e PKV. O poço 1-ESS-20-ES (ANEXO II) atinge 2190 metros de profundidade e em sua totalidade apresenta unidades litoestratigráficas correspondentes a fase drifte. Ao final do perfil, há a presença de um pacote de cerca de 150 metros de rochas vulcânicas, corroborando com a faixa de ocorrência de rochas vulcânicas nesta região.

Figura 30 - Modelo gravimétrico da linha 0223-4627



O modelo 0259-1103 está orientado na direção norte-sul, possui 131,13 km e é localizado na porção oeste da Bacia de Mucuri. Há uma anomalia positiva significativa ao início do perfil, relacionada a altos do embasamento (Figura 31). Considerando as unidades superiores à Discordância do Paleoceno, o modelo (Figura 32) apresenta espessura máxima de 3197 m. A espessura máxima da Sequência Cretácica é de 5138 m. Desta forma, as espessuras das duas sequências apresentam-se coerentes com França et al. (2007).

O poço 1-ESS-20-ES (ANEXO II) foi utilizado para amarração a este modelo. O poço atinge 2190 metros de profundidade. Em sua totalidade, o poço apresenta unidades litoestratigráficas superiores à Discordância do Paleoceno. Ao final do perfil, há a presença de um pacote de cerca de 150 metros de rochas vulcânicas, confirmando a ocorrência destas rochas na faixa delimitada por Sobreira e França (2006).

Figura 31 - Perfil gravimétrico da linha 0259-1103

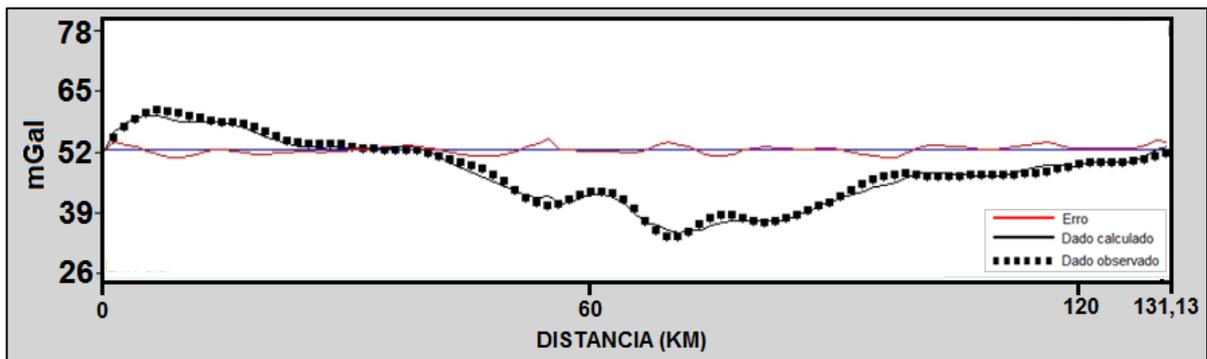
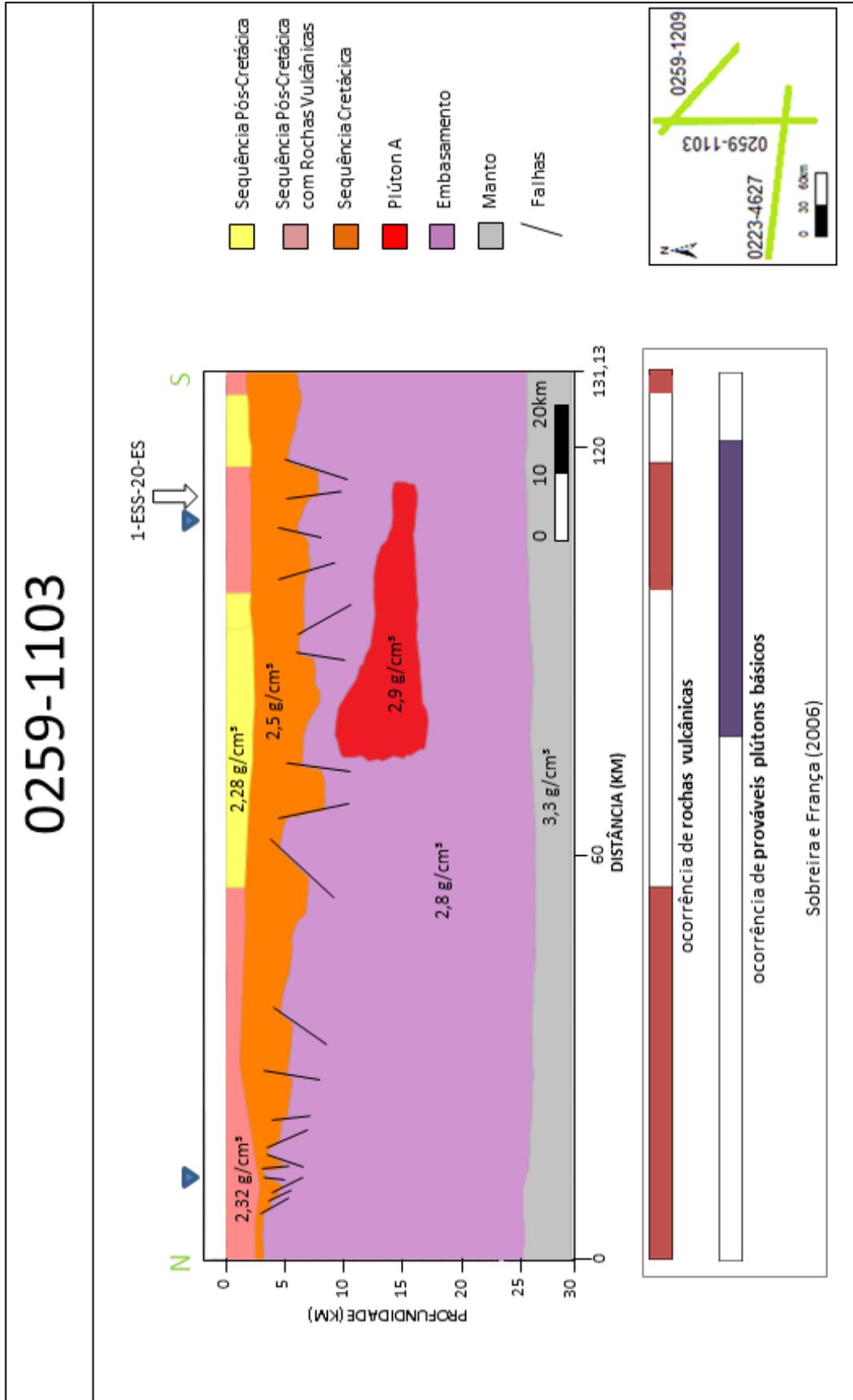


Figura 32 - Modelo gravimétrico da linha 0259-1103



O modelo 0259-1209 está orientado na direção noroeste-sudeste e possui 101,5 km. Os valores mais altos de gravidade estão na região mais distal da linha (Figura 33) e se relacionam aos altos do embasamento junto a presença de rochas vulcânicas do Paleógeno. O modelo (Figura 34) apresenta espessura máxima entre as sequências superiores à Discordância do Paleoceno de 3715 m e espessura máxima da Sequência Cretácica de 4617 m (Tabela 5). Desta forma, as espessuras apresentam-se coerentes quando comparadas ao proposto por França et al. (2007).

O poço 1-BAS-122-BA foi utilizado para amarração a este modelo. O poço atinge 3594 metros de profundidade. Em sua totalidade, apresenta unidades litoestratigráficas superiores a Discordância do Paleoceno. Neste poço não há a presença de rochas vulcânicas, logo a região pós Discordância do Paleoceno foi considerada como PKV.

Figura 33 - Perfil gravimétrico da linha 0259-1209

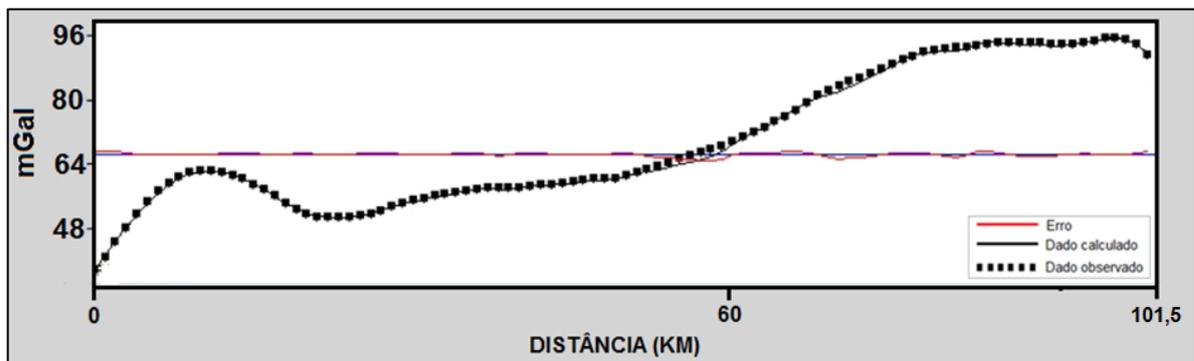


Figura 34 - Modelo gravimétrico da linha 0259-1209

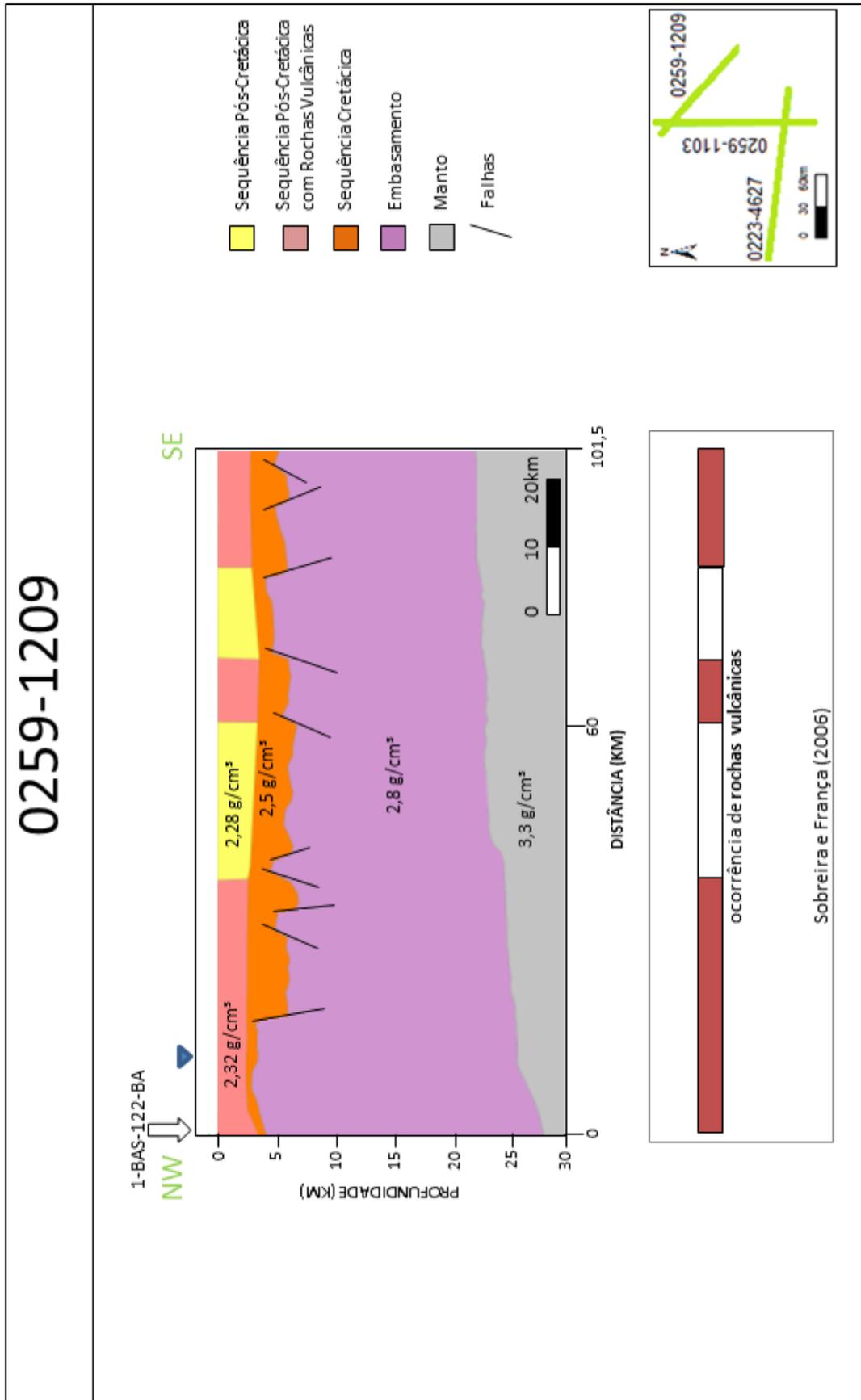


Tabela 5 - Comparação entre as espessuras máximas nos modelos e na carta estratigráfica da Bacia de Mucuri, de França et al. (2007)

	Espessura Máxima (m)	
	Sequência Cretácica	Sequência Pós-Cretácica e Sequência Pós-Cretácica com Rochas Vulcânicas
0223-4627	5446	3573
0259-1103	5138	3197
0259-1209	4617	3715
FRANÇA et. al. (2007)	10000	4100

A integração dos modelos é apresentada pela Figura 35. A arquitetura interna da Bacia de Mucuri, definida pela modelagem gravimétrica, descreve um conjunto de *horsts*, grabens e meio-grabens assimétricos, com profundidades inferiores a 8566 metros. A migração de óleo está possivelmente associada às falhas contíguas a estes *horsts*, que constituem a ligação entre a rocha geradora e a rocha reservatório. Tal mecanismo pode também originar rotas de migração até o assoalho oceânico.

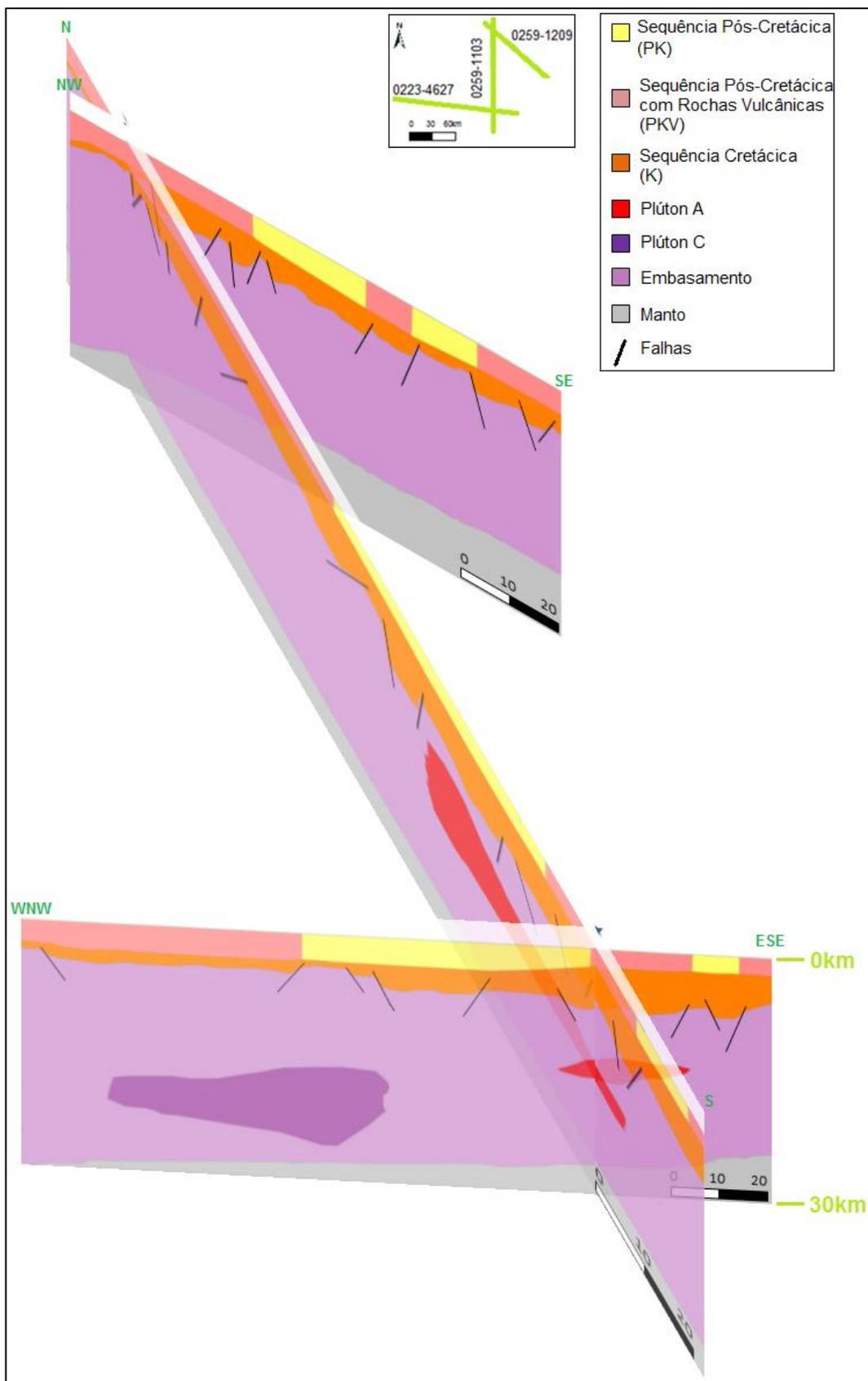
Os modelos geofísicos apresentam o comportamento em profundidade das falhas que condicionam a configuração geométrica da bacia. Analisando o conjunto dos modelos, podemos observar a existência destas falhas típicas de regime extensional, geradas na fase rifte da bacia.

Quando tratamos das estruturas identificadas perante as unidades mapeadas nestes modelos, as sequências sedimentares presentes na Sequência Cretácica são diretamente dependentes das características estruturais destas falhas. Os sedimentos desta unidade, quando depositados na fase de estiramento – o caso das unidades litoestratigráficas correspondentes a fase rifte em França et al (2007) – mostram variações de espessura e fácies através de falhas de crescimento. No caso dos sedimentos da fase transicional, as falhas atuam como controladoras da deposição pela geometria dos blocos de falha e pela subsidência após a interrupção do processo extensional.

A presença de plútons pode influenciar de diversas formas o sistema petrolífero, em qualquer dos seus elementos individuais: carga, migração, reservatório, armadilha e selo. Senger et al. (2017) afirma que a relação do

magmatismo com a maturidade da rocha geradora, influencia no fato de uma bacia ser afetada em termos de potencial de produção de hidrocarbonetos. Além dos efeitos de aquecimento, a atividade ígnea pode compartimentar as rochas geradoras (HOLFORD et al., 2013). No caso dos modelos apresentados neste trabalho, especificamente se tratando dos plútons, com as intrusões ocorrendo internamente ao embasamento, pode ser que eles provoquem efeitos térmicos, efeitos estes que em alguns casos podem ser suficientes para inserir rochas geradoras imaturas em janela de óleo. A janela de óleo se refere à profundidade ou faixa de maturidade dentro da qual uma rocha geradora gera e expulsa o petróleo líquido. Em uma situação de exploração de petróleo, o estabelecimento da janela de óleo em uma bacia é fundamental para avaliar a prospectividade da área (PETERSEN, 2006).

Figura 35 - Visualização integrada dos modelos gravimétricos



7 CONCLUSÕES

A identificação de lineamentos gravimétricos e magnetométricos permite associar lineamentos de direções N-S e SW-NE à orientação estrutural do rifte originário das bacias da margem leste brasileira. As direções NW-SE e W-E coincidem com direções de falhas transformantes e zonas de fraqueza acomodadoras dos movimentos de placas litosféricas. A identificação dos domínios gravimétricos e magnetométricos possibilitou relacionar ag1 ao Plúton C e dest1 ao Plúton A.

As espessuras das unidades delimitadas no modelo gravimétrico se apresentam com valores inferiores às espessuras máximas propostas em carta estratigráfica elaborada para a Bacia de Mucuri.

A amarração de dados realizada neste trabalho, utilizando perfis de poços, seções sísmicas, dados de métodos potenciais e um modelo tectono-magmático para a região, proporcionou um resultado adequado frente à necessidade de delimitação de áreas de rochas vulcânicas na fase marinha da bacia e do posicionamento de prováveis plútons básicos. O posicionamento lateral e em profundidade dos plútons foi coerente com a interpretação de outros autores: o Plúton A está situado a uma profundidade menor e o Plúton C está situado a uma profundidade maior que a profundidade de Curie, calculada para a região como 16,7 km.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASMUS, H. E.; GOMES, J. B.; PEREIRA, A. C. B. Integração geológica regional da Bacia do Espírito Santo. **Relatório Interno - PETROBRAS**, 1971.

ASMUS, H. E.; GUAZELLI, W. Descrição Sumária das Estruturas da Margem Continental Brasileira e das Áreas Oceânicas e Continentais Adjacentes-Hipóteses Sobre o Tectonismo Causador e Implicações Para os Prognósticos do Potencial de Recursos Minerais. **Série Projeto RMAC**, v. 9, p. 187–269, 1981.

ASSUMPÇÃO, M. et al. Crustal thickness map of Brazil: Data compilation and main features. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 43, p. 74–85, 2013a.

ASSUMPÇÃO, M. et al. Models of crustal thickness for South America from seismic refraction, receiver functions and surface wave tomography. **Tectonophysics**, v. 609, p. 82–96, 2013b.

BARANOV, V. A new method for interpretation of aeromagnetic maps: pseudo-gravimetric anomalies. **Geophysics**, v. 22, n. 2, p. 359–383, 1957.

BIASSUSI, A. S. **Análise Estratigráfica do Terciário Inferior da Bacia do Espírito Santo**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990.

BLAKELY, R. J. **Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications**, Cambridge University Press. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

BOUCHER, R. K. The relevance of lineament tectonics to hydrocarbon occurrences in the Cooper and Eromanga Basins, South Australia. **Journal of Petroleum Exploration Society of Australia**, v. 21, p. 69–75, 1995.

CHOPRA, S. Integrating coherence cube imaging and seismic inversion. **The Leading Edge**, p. 354–362, 2001.

CONCEIÇÃO, J. C. J. et al. Controle Tectônico do Magmatismo Meso-Cenozóico no Sul e Sudeste do Brasil e seu papel na Evolução das Bacias Sedimentares. **Relatório Interno - PETROBRAS**, 1994.

CORDANI, U. G.; BLAZEKOVIĆ, A. **Idades radiométricas das rochas vulcânicas de Abrolhos**. Anais - 24º Congresso Brasileiro de Geologia. **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira de Geologia, 1970

FODOR, R. V.; MCKEY, E. H.; ASMUS, H. E. K/Ar ages and the opening of South Atlantic Ocean: basaltic rocks from the Brazilian margin. **Marine Geology**, v. 54, p. 1–8, 1983.

FRANÇA, R. L. et al. Bacia de Mucuri. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 493–499, 2007.

GOMES, J. B. Mapeamento sísmico da Bacia de Mucuri, revisão geológica parcial. **Relatório Interno - PETROBRAS**, p. 34, 1992.

GOMES, N. S.; SUITA, M. T. DE F. Ocorrência de vulcanismo bimodal de idade terciária na Bacia de Mucuri. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 18, p. 233, 2010.

HATUSHIKA, R. S.; SILVA, C. G.; MELLO, C. L. Sismoestratigrafia de alta resolução no lago Juparanã, Linhares (ES - Brasil) como base para estudos sobre a sedimentação e tectônica quaternária. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 4, n. 25, 2007.

HINZE, W. J. The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. **Geotechnical and Environmental Geophysics**, v. 1, p. 75–126, 1990.

HOLFORD, S. et al. **Impacts of igneous intrusions on source and reservoir potential in prospective sedimentary basins along the western Australian continental margin**. West Australian Basins Symposium, Abstracts. **Anais...2013**

JORGE LUIS BORGES. Una brújula. In: **Obras Completas: El otro, el mismo**. 2. ed. Buenos Aires: Emecé, 1989. p. 253.

KEAREY, P.; BROOKS, M.; HILL, I. **An introduction to geophysical exploration**. 2. ed. Oxford: Blackwell Publishing, 2002.

LI, X. Understanding 3D analytic signal amplitude. **Geophysics**, v. 71, n. 2, p. 13–16, 2006.

LOWRIE, W. **Fundamentals of geophysics**. New York: Cambridge University Press, 2007.

LUIZ, J. G.; SILVA, L. M. DA C. E. Geofísica de prospecção. **Editora Universitária UFPA**, p. 311, 1995.

MELLO, C. L.; RODRIGUES, H. B.; HATUSHIKA, R. S. **Reativações Tectônicas Cenozóicas na Faixa de Lineamentos Colatina (ES)**. X International Symposium on Tectonics. **Anais...2005**

MIO, E. DE. **Modelagem crustal da Bacia de Santos pela integração de métodos geofísicos**. [s.l.] Universidade Estadual Paulista, 2005.

MIRANDA, D. J. **Tensões e fraturamento neotectônico na área emersa da**

bacia do Espírito Santo. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2009.

MIRANDA, J. L.; DEL REY, A. C. Revisão e atualização dos dados geotérmicos das Bacias do Espírito Santo e Mucuri. **Relatório Interno - PETROBRAS**, v. 1, 1995.

MONTES-LAUAR, C. R. **Paleomagnetismo de rochas magmáticas mesozóico-cenozóicas da Plataforma Sul-Americana.** [s.l.] Universidade de São Paulo, 1993.

NETO, J. F. L.; ROZA, J. B. **Projeto Batimetria** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, , 2013.

NGA. **GM-SYS – Gravity/Magnetic Modeling Software: User’s Guide version 4.9.** Corvallis, Northwest Geophysical Associate, 101 pp. Corvallis Northwest Geophysical Associate, , 2004.

NOVAIS, L. C. C. et al. Novas ocorrências de diques de diabásio na faixa Colatina – ES: estruturas rúpteis associadas e implicações tectônicas para as bacias de Campos e do Espírito Santo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 12, n. 1, p. 191–194, 2004.

NOVAIS, L. C. C. **Lineamentos Transversais nas Porções Centro e Norte da Bacia do Espírito Santo e na Faixa Proterozóica Adjacente: Influência na Sedimentação e na Compartimentação Estrutural.** [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2005.

O’DRISCOLL, E. S. T. Observations of the Lineament — Ore Relation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, v. 317, n. 1539, p. 195–218, 1986.

O’LEARY, D. W.; FRIEDMAN, J. D.; POHN, H. A. Lineament, linear, lineation: Some proposed new standards for old terms. **Geological Society of America Bulletin, October**, v. 87, n. 10, p. 1463–1469, 1976.

OLIVEIRA, A. I.; LEONARDOS, O. H. **Geologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Serviço Informação Agrícola/ Ministério da Agricultura, 1943.

OLIVEIRA, L. C. DE; OLIVEIRA, R. M. A. G. DE; PEREIRA, E. Seismic characteristics of the onshore Abrolhos magmatism, East-Brazilian continental margin. **Marine and Petroleum Geology**, v. 89, p. 488–499, 2018.

PACCA, I. G.; ERNESTO, M. **Introdução à Geofísica: Geomagnetismo.** São Paulo: Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, 1979.

PARASNIS, D. S. **Principles of applied geophysics**. New York: Springer Science & Business Media, 2012.

PETERSEN, H. I. The petroleum generation potential and effective oil window of humic coals related to coal composition and age. **International Journal of Coal Geology**, v. 67, n. 4, p. 221–248, 2006.

PETROBRAS. **Bacia do Espírito Santo**, 2019. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/principais-operacoes/bacias/bacia-do-espírito-santo.htm>>. Acesso em: 5 out. 2019

REID, A. B. et al. Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. **Geophysics**, v. 55, n. 1, p. 80–91, 1990.

RIVADENEYRA-VERA, C. et al. An Updated Crustal Thickness Map of Central South America Based on Receiver Function Measurements in the Region of the Chaco, Pantanal, and Paraná Basins, Southwestern Brazil. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 124, n. 8, p. 8491– 8505, 2019.

ROEST, W. R.; VERHOEF, J.; PILKINGTON, M. Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal. **Geophysics**, v. 57, n. 1, p. 116–125, 1992.

SENGER, K. et al. Effects of igneous intrusions on the petroleum system: a review. **First Break**, v. 35, p. 10, 2017.

SOARES, C. P. et al. **Análise morfoestrutural em fotos aéreas: aplicação na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Paraná**. Anais - 2 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. **Anais...**1982

SOBREIRA, J. F. F.; FRANÇA, R. L. Um modelo tectono-magmático para a região do Complexo Vulcânico de Abrolhos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 14, n. 1, p. 143–147, 2006.

TALWANI, M.; WORZEL, J.; LANDISMAN, M. Rapid gravity computations for two-dimensional bodies with the application to the Mendocino submarine fracture zone. **Journal of Geophysical Research**, v. 64, n. 1, p. 49–59, 1959.

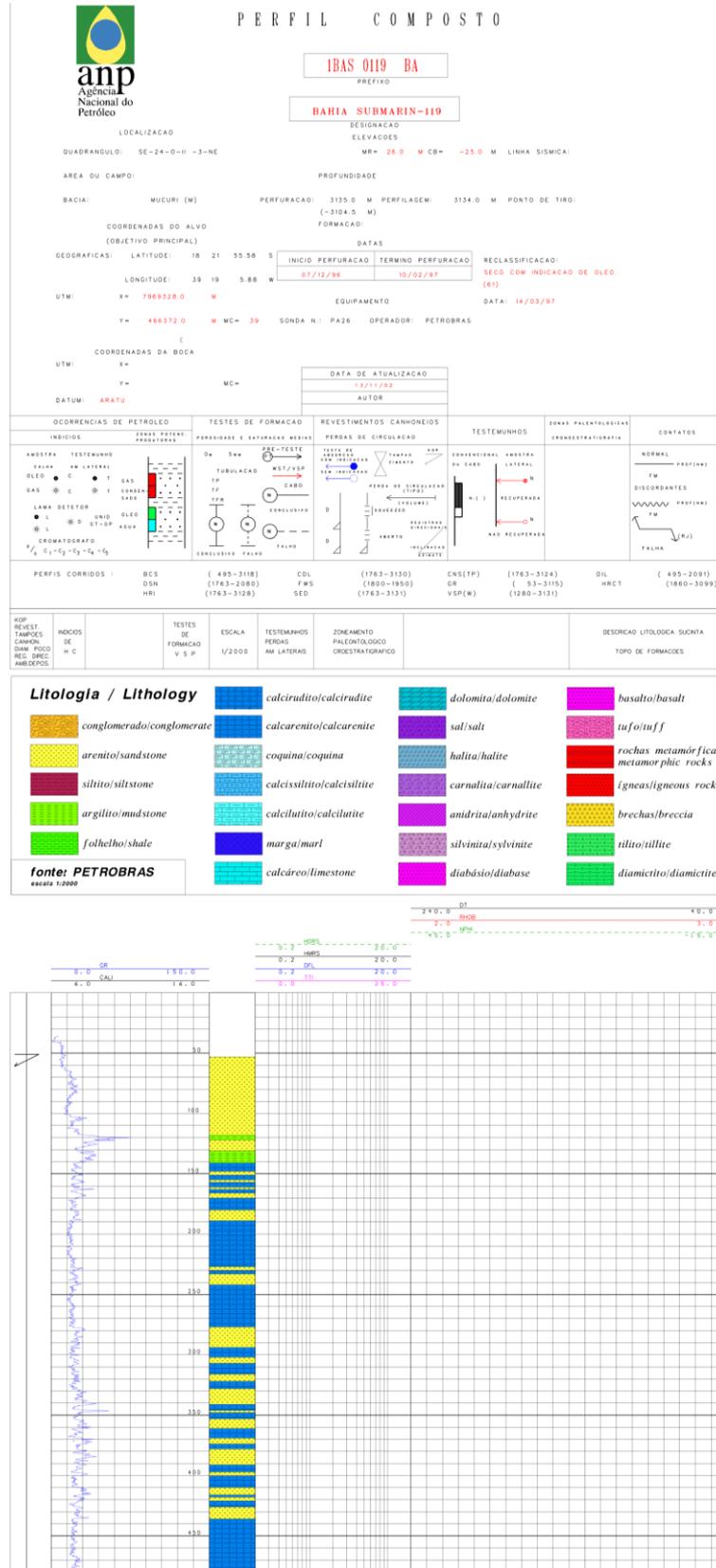
TELFORD, W. M.; GELDART, L. P.; SHERIFF, R. E. **Applied Geophysics**. 2. ed. New York: Cambridge University Press, 1990.

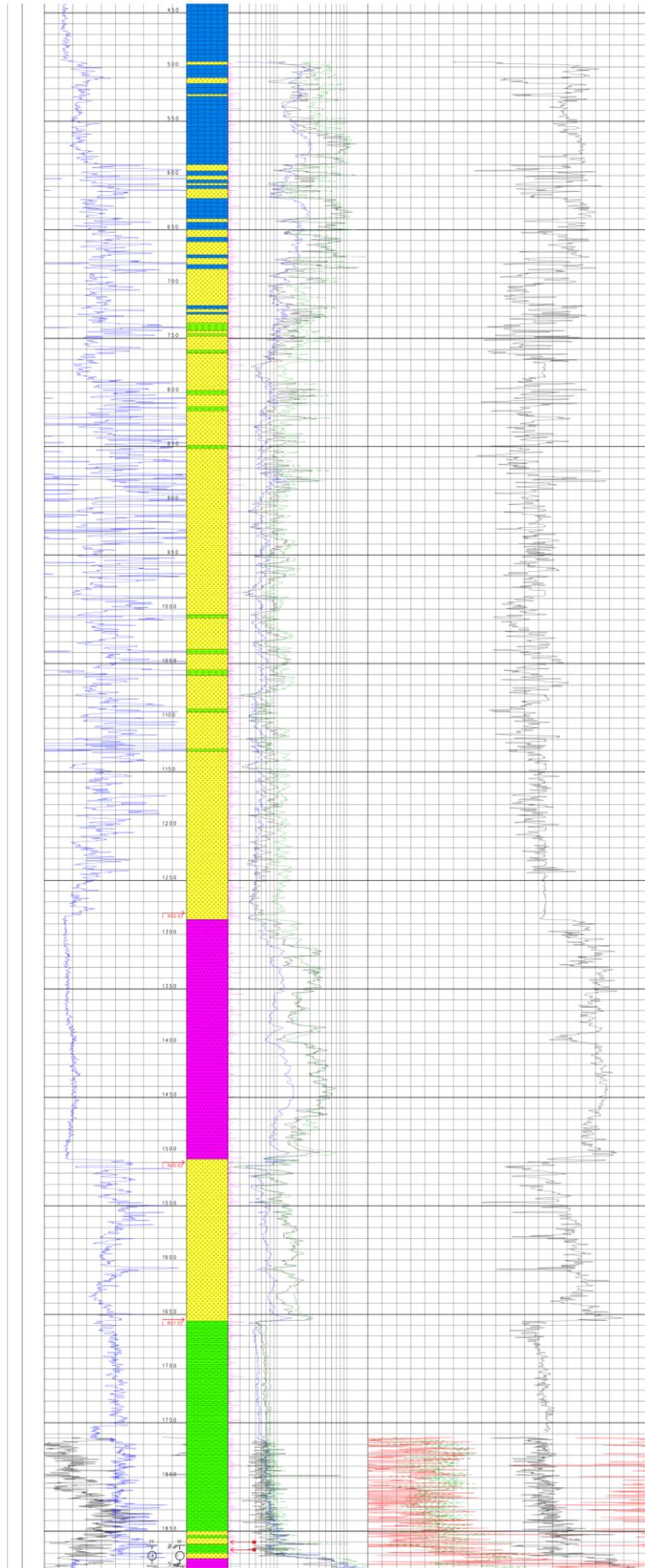
THOMPSON, D. T. EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. **Geophysics**, v. 47, n. 1, p. 31–37, 1982.

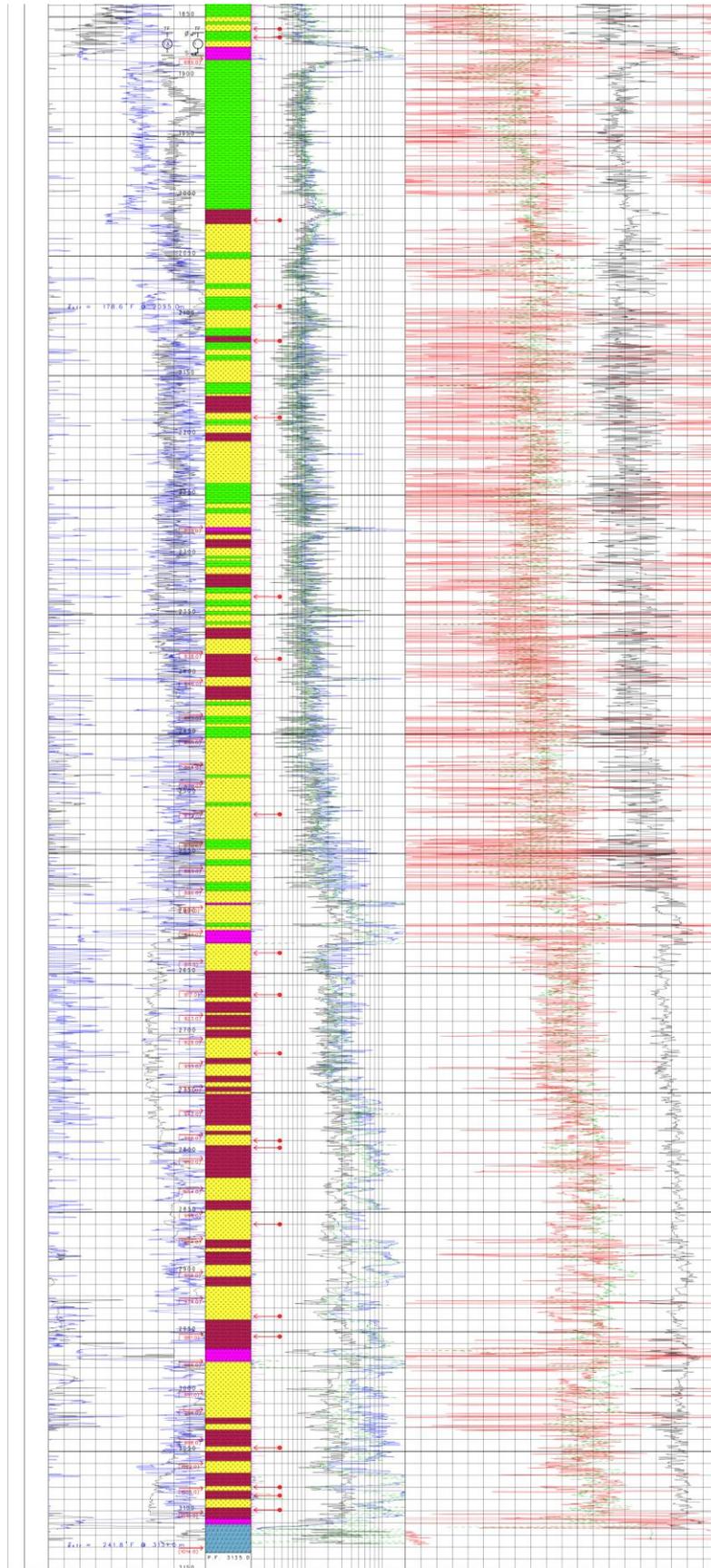
VIEIRA, R. A. B. et al. Bacias do Espírito Santo e Mucuri. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 1, p. 191–202, 1994.

ZALÁN, P. V; OLIVEIRA, J. A. B. Origin and structural evolution of the Cenozoic Rift System of Southeastern Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 13, n. 2, p. 269–300, 2005.

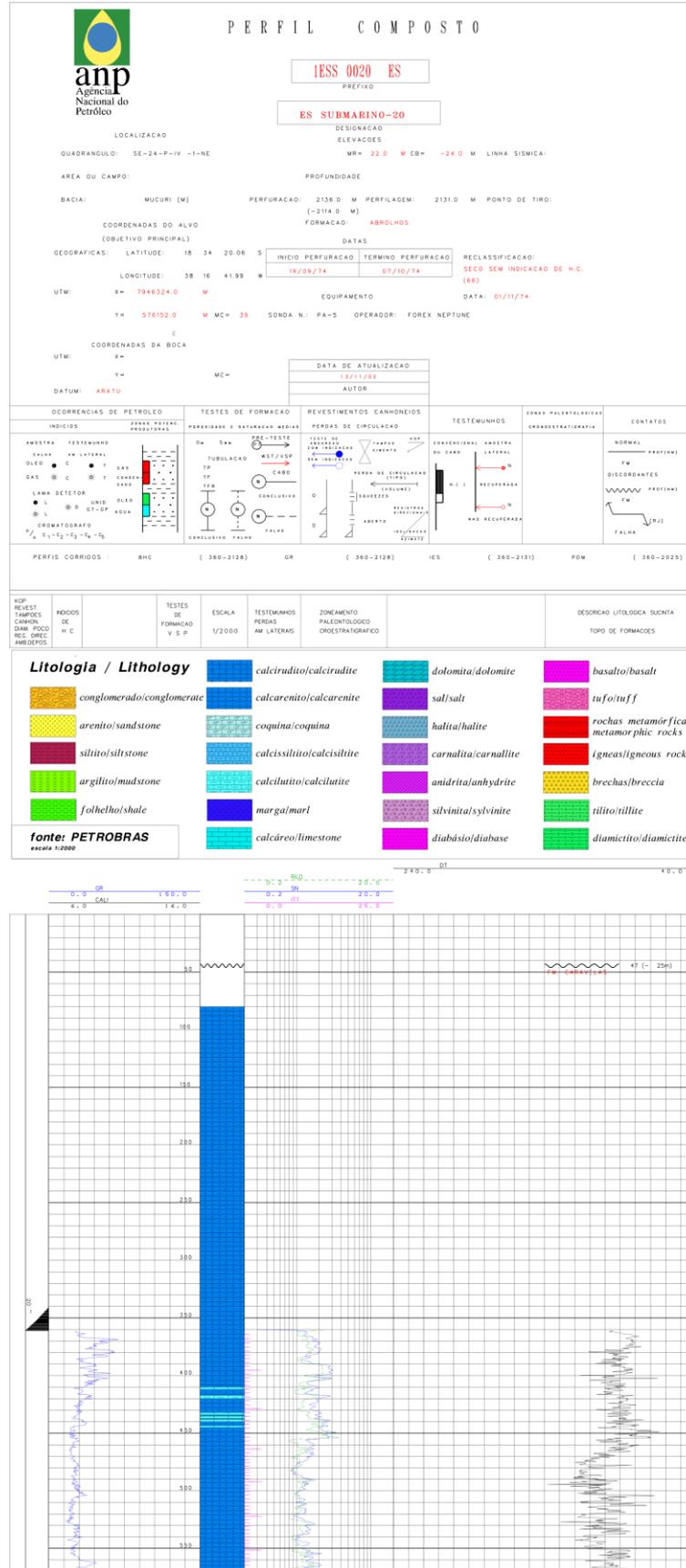
ANEXO I – PERFIL CONVENCIONAL DO POÇO 1-ESS-119-ES

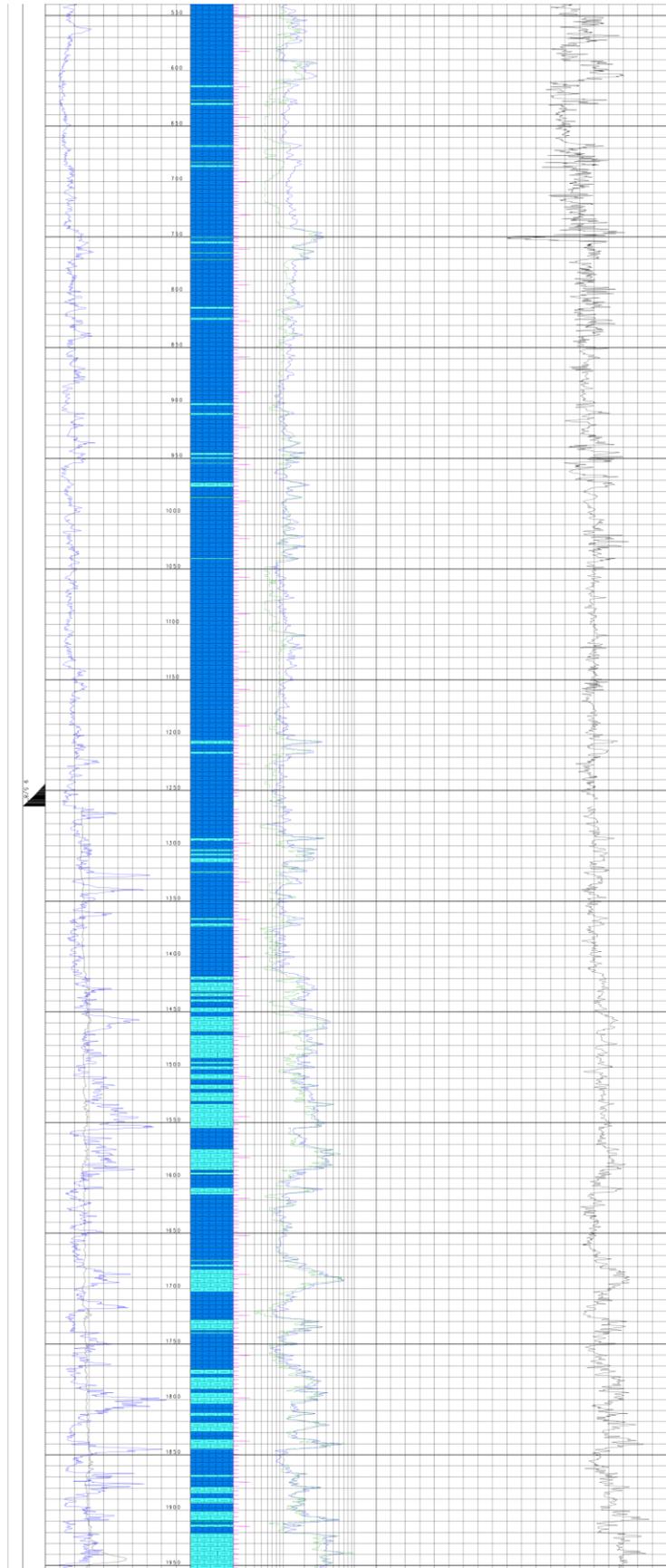


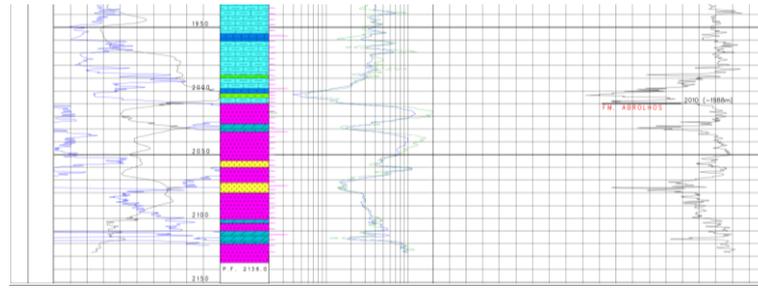




ANEXO II – PERFIL CONVENCIONAL DO POÇO 1-ESS-20-ES







ANEXO III – PERFIL CONVENCIONAL DO POÇO 1-BAS-122-BA

