

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

VINÍCIUS VIEIRA DE MORAES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO GEOFÍSICO DO SISTEMA DE ZONAS DE
FRATURA DO RIO DE JANEIRO**

Niterói
2019

VINÍCIUS VIEIRA DE MORAES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO GEOFÍSICO DO SISTEMA DE ZONAS DE
FRATURA DO RIO DE JANEIRO**

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

Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Eliane da Costa Alves

Co-Orientadora:

Prof.^a Dr.^a Susanna Eleonora Sichel

Niterói
2019

Ficha catalográfica automática - SDC/BIG
Gerada com informações fornecidas pelo autor

M827a Moraes, Vinícius Vieira de
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO GEOFÍSICO DO SISTEMA DE ZONAS DE
FRATURA DO RIO DE JANEIRO / Vinícius Vieira de Moraes ;
Eliane da Costa Alves, orientador ; Susanna Eleonora Sichel,
coorientador. Niterói, 2019.
40 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geofísica)-
Universidade Federal Fluminense, Instituto de Geociências,
Niterói, 2019.

1. Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro. 2.
Cordilheira Mesoatlântica. 3. Bacia de Santos. 4. Produção
intelectual. I. Alves, Eliane da Costa, orientador. II.
Sichel, Susanna Eleonora, coorientador. III. Universidade
Federal Fluminense. Instituto de Geociências. IV. Título.

CDD -

VINÍCIUS VIEIRA DE MORAES

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO GEOFÍSICO DO SISTEMA DE ZONAS DE
FRATURA DO RIO DE JANEIRO**

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

Aprovada em _____ de Dezembro de 2019.

BANCA EXAMINADORA

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

Prof^a Dr^a. Susanna Eleonora Sichel / LAGEMAR-UFF

Prof^o Dr^o. Rogério de Araújo Santos / LAGEMAR-UFF

Niterói
2019

Dedico este trabalho a todos que passaram pela minha vida ajudando-me direta ou indiretamente na minha trajetória pessoal e acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos especiais à minha família e amigos, em especial, aos meus pais, Rita de Cássia e José Carlos, por sempre estarem ao meu lado e dando todo o suporte necessário à realização deste curso de graduação. À minha falecida avó Aparecida e minha prima Karine por ajudarem financeiramente na minha educação primária pagando as mensalidades do colégio onde estudei parte do Ensino Fundamental. Ao meu companheiro Lucas por me amar e acreditar no meu potencial.

Ao professor Juarez da Escola Municipal Andrade Figueira, por ter me alfabetizado na mais tenra idade. À diretora do Colégio Cenecista Sul Paraibano, Dona Niza, por atender à solicitação de minha mãe e conceder-me bolsa parcial ao longo da 2ª fase do Ensino Fundamental e bolsa integral no decorrer no Ensino Médio. Agradeço também ao corpo docente da Escola Municipal Andrade Figueira e do Colégio Cenecista Sul Paraibano por transmitirem os seus conhecimentos e ajudarem a despertar minha vocação científica/acadêmica.

Agradeço também à Universidade Federal Fluminense e ao seu corpo docente por transmitirem saberes técnico/científicos que levarei para minha vida profissional. Não posso me esquecer de agradecer à Profª Drª. Nivia Valença Barros, que sabendo de minha situação socioeconômica, acolheu-me como bolsista do Programa de Extensão UFF Mulher. Ao Profº Dr. Humberto Marotta Ribeiro que tive a honra de por dois anos ser bolsista de iniciação científica. À PROAES e suas assistentes sociais por me concederem ao longo desses 5 anos (bolsa apoio emergencial, auxílio alimentação, auxílio moradia, auxílio transporte, auxílio saúde, moradia estudantil e bolsa de desenvolvimento acadêmico). Ao corpo docente do Departamento de Geologia e Geofísica, em especial, Cleverson, Ferrari, Bijani, Freire, Susanna, Wagner, Rogério e é claro a minha orientadora Profª Titular Drª Eliane da Costa Alves por me acolher como seu orientando, me tranquilizar nos momentos difíceis e introduzir as ferramentas de um profissional de geofísica.

À Seequent/Geosoft por disponibilizar a licença acadêmica do software Oasis Montaj. Aos bancos de dados internacionais, ANP, Petrobras e Marinha do Brasil por fornecerem os dados geofísicos que possibilitaram o desenvolvimento deste trabalho de conclusão de curso.

Por fim, gostaria de agradecer às políticas educacionais criadas ao longo dos governos do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva e da Presidente Dilma Vana Rousseff que me fizeram chegar até aqui. Sou um filho do REUNI e serei eternamente grato aos senhores por pensarem nos mais pobres e vulneráveis. Lula e Dilma, vocês fizeram a diferença na vida de milhões de brasileiros que como eu ascenderam socialmente durante os seus governos. Muito obrigado a todos que passaram pela minha vida ajudando-me direta ou indiretamente na minha trajetória pessoal e acadêmica.

Vou vencer pelo estudo, ainda que demore! Vou entrar pela porta da frente, para mudar a minha história e a de quem eu amo!

Autor desconhecido

RESUMO

As Zonas de Fratura Oceânicas (ZFOs) são zonas de fraqueza litosférica perpendiculares aos centros de espalhamento das Cordilheiras Mesoceânicas (CMO), e se prolongam para as margens continentais por extensões que podem atingir milhares de quilômetros. Uma ZFO é caracterizada por uma Falha Transformante (FT) ativa, que desloca os eixos de acreção de uma CMO, bem como os seus prolongamentos inativos, traços fósseis das FTs. O estudo das ZFOs auxilia na compreensão dos processos tectônicos globais de deriva continental e abertura dos oceanos e tem como principal lacuna científica entender o papel dos prolongamentos para o continente na formação e evolução das bacias marginais, assim como influenciar nos padrões de deposição e sedimentação. Este trabalho visa estudar o comportamento geofísico do Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro (SZFRJ) por meio da interpretação de dados batimétricos, gravimétricos e magnéticos, com a finalidade de compreender o seu processo de evolução morfoestrutural e morfotemporal, estendendo-se desde a Cordilheira Mesoatlântica até a Margem Continental Brasileira. A aplicação de técnicas de processamento permitiu ampliar a resolução dos mapas bem como melhor caracterizar as estruturas tectônicas do SZFRJ. A análise dos dados gravimétricos mostrou que o sistema atualmente é composto por três falhas transformantes na região da cordilheira, são elas: ZFRJ1, ZFRJ2 e ZFRJ3. A Falha Transformante da ZFRJ1 possui na realidade 100 km de deslocamento na cordilheira, a Falha Transformante da ZFRJ2 apresenta 125 km de comprimento enquanto que a Falha Transformante da ZFRJ3 possui 40 km de deslocamento. O desenvolvimento da ZFRJ2 a 50 Ma foi uma resposta à modificação do pólo de rotação da placa culminando em uma reorganização do SZFRJ. A caracterização gravimétrica dos segmentos fósseis da ZFRJ1 e da ZFRJ3 fica prejudicada a partir de 105 Ma, isso se deve à intensa sedimentação nas proximidades da Margem Continental Brasileira. Entretanto, a análise dos mapas de anomalia magnética permitiu estabelecer as continuidades dos prolongamentos fósseis da ZFRJ1 e da ZFRJ3 sob o Platô de São Paulo na Bacia de Santos.

Palavras-chave: Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro. Cordilheira Mesoatlântica. Bacia de Santos.

ABSTRACT

The Oceanic Fracture Zones (ZFOs) are zones of lithospheric weakness orthogonal to the scattering centers of the Mesoceanic Ridges (CMO), and extend to the continental margins by extensions that can reach thousands of kilometers. A ZFO is characterized by an active Transform Fault (TF), which shifts the accretion axes of a CMO, as well as its inactive extensions, fossil traces of the TF. The study of ZFOs helps in understanding the global tectonic processes of continental drift and ocean opening and has as its main scientific gap to understand the role of continental extensions in the formation and evolution of marginal basins, as well as influence deposition and sedimentation patterns. This work aims to study the geophysical behavior of the Rio de Janeiro Fracture Zones System (SZFRJ) through the interpretation of bathymetric, gravimetric and magnetic data, with the purpose of providing knowledge about its morphostructural and morpho-chronological evolution process, extending from the Mid-Atlantic Ridge to the Brazilian Continental Margin. The application of processing techniques has allowed to increase map resolution as well as to better characterize the SZFRJ tectonic structures. The analysis of the gravimetric data showed that the system currently consists of three transform faults in the region of the Mid-Atlantic Ridge: ZFRJ1, ZFRJ2 and ZFRJ3. The Transform Fault of the ZFRJ1 actually has 100 km of displacement in the mountain range, the Transform Fault of the ZFRJ2 has 125 km long while the Transform Fault of the ZFRJ3 has 40 km of displacement. The development of ZFRJ2 at 50 Ma was a response to the modification of the plate rotation pole culminating in a reorganization of the SZFRJ. The gravity characterization of the fossil segments of ZFRJ1 and ZFRJ3 becomes difficult by approximately 105 Ma, due to the intense sedimentation near the Brazilian Continental Margin. However, the analysis of the magnetic anomaly maps allowed us to establish the continuities of the ZFRJ1 and ZFRJ3 fossil extensions under the São Paulo Plateau in the Santos Basin.

Keywords: Rio de Janeiro Fracture Zones System. Mid-Atlantic Ridge. Santos Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Modelo teórico da estrutura de uma zona de fratura oceânica (modificado de Wessel e Haxby, 1990).....	14
Figura 2: Espessura da camada de sedimentos (IBGE, 2011).....	15
Figura 3: Elementos da batimetria (Ayres et al., 2004).....	17
Figura 4: Mapa batimétrico do Atlântico Sul e suas principais feições fisiográficas.....	17
Figura 5: Elementos do campo geomagnético (Kearey et al., 2009).....	20
Figura 6: Zonas de Fratura Oceânicas e seus aspectos morfológicos estruturais (modificado de Karstens, 1987).....	23
Figura 7: Mapa de Gravimetria Ar-Livre derivado da altimetria de satélite (Sandwell & Smith, 1997). Traçado das principais zonas de fratura do Atlântico Sul elaborado por Alves (2002).....	24
Figura 8: Mapa gravimétrico de anomalia Ar-Livre.....	26
Figura 9: Mapa gravimétrico de anomalia Ar-Livre com os perfis representados por linhas brancas.....	27
Figura 10 - Histograma e resumo estatístico do conjunto de dados de anomalia gravimétrica de ar livre.....	27
Figura 11 - Mapa do gradiente vertical gravitacional.....	28
Figura 12 - Mapa de anomalia magnética da Terra.....	29
Figura 13 - Histograma e resumo estatístico do conjunto de dados de anomalia magnética da Terra.....	30
Figura 14 - Mapa do gradiente vertical magnético.....	30
Figura 15 - Mapa com as idades da litosfera oceânica.....	31

Figura 16: Análise morfoestrutural através do mapa de anomalia ar livre. Em destaque, o esboço dos três segmentos transformantes do SZFRJ.....	33
Figura 17: Análise morfoestrutural através do mapa do gradiente vertical gravitacional e o esboço dos três segmentos transformantes do SZFRJ bem como os seus respectivos prolongamentos.....	34
Figura 18: Mapa do gradiente vertical gravitacional com os contornos das isócronas magnéticas sendo possível estabelecer uma relação temporal dos principais eventos ocorridos ao longo do processo evolutivo do SZFRJ.....	34
Figura 19: Perfis gravimétricos 1, 2 e 3.....	35
Figura 20: Perfis gravimétricos 4, 5 e 6.....	36
Figura 21: Perfis gravimétricos 7, 8 e 9.....	36
Figura 22: Perfis gravimétricos 10, 11 e 12.....	37
Figura 23: Perfis gravimétricos 13, 14 e 15.....	37
Figura 24: Mapa de anomalia magnética da Terra.....	38

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. PRINCÍPIOS TEÓRICOS DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS	16
2.1 BATIMETRIA.....	16
2.2 GRAVIMETRIA.....	18
2.3 MAGNETOMETRIA.....	19
3. ZONAS DE FRATURA OCEÂNICAS (ZFOs)	22
3.1 SISTEMA DE ZONAS DE FRATURA DO RIO DE JANEIRO.....	23
4. METODOLOGIA	25
4.1 DADOS BATIMÉTRICOS.....	25
4.2 DADOS GRAVIMÉTRICOS.....	25
4.3 DADOS MAGNETOMÉTRICOS.....	28
5. RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÃO	32
6. CONCLUSÃO	39
7. REFERÊNCIAS	40

INTRODUÇÃO

As Zonas de Fratura Oceânicas (ZFOs) são feições lineares de compartimentação tectônica do embasamento oceânico que representam zonas de fraqueza litosférica ortogonais ao eixo de espalhamento de uma cordilheira mesoocênica (CMO) segmentando-a em diversos intervalos lateralmente deslocados (Heirtzler et al., 1968; Alves, 2002; Figura 1).

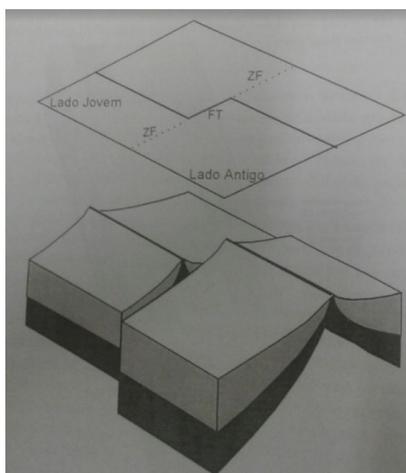


Figura 1: Modelo teórico da estrutura de uma zona de fratura oceânica (modificado de Wessel e Haxby, 1990).

Sua origem se dá nas etapas iniciais de abertura dos oceanos e seus traçados cortam as bacias oceânicas, estendendo-se por ambos os lados da cordilheira mesoocênica (Wilson, 1965 e Le Pichon 1968). O deslocamento do eixo da cordilheira observado na Zona de Fratura de Romanche, localizada no Atlântico Equatorial, chega a 940 km de deslocamento (Gorini, 1981).

Morfologicamente, as ZFOs podem possuir larguras na ordem de 200 km e serem constituídas por cristas e depressões alinhadas, que separam trechos do assoalho oceânico com desníveis de aproximadamente 1.500 m, mostrando portanto uma forte assinatura batimétrica, podendo essas feições atuarem como um canalizador dos sedimentos provenientes da margem continental (Gorini e Bryan, 1976; Gorini, 1977). Além disso, as ZFOs apresentam fortes assinaturas gravimétricas, magnetométricas e sísmicas (Alves, 2002).

O estudo das ZFOs ajuda na compreensão do processo de abertura dos oceanos e deriva continental. Além disso, busca-se entender como os seus prolongamentos para o continente, podem ter afetado a formação e evolução das bacias marginais, bem como influenciar nos padrões de deposição e sedimentação (Wilson, 1965; Gorini e Bryan, 1976; Gorini, 1977; Alves, 1981; Alves, 2002; Alves et al., 2006).

A identificação dos prolongamentos das ZFOs fica prejudicada pela espessa cobertura sedimentar na margem continental (Sandwell et al., 2014; Figura 2). Alves (1981) sugere que sejam observados indícios de algum tipo de atividade vulcânica e/ou elementos estruturais provavelmente relacionados e inseridos ao longo das Zonas de Fratura Oceânicas.

Este trabalho visa estudar o comportamento geofísico e o mapeamento do Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro (SZFRJ), delimitado ao norte pela Zona de Fratura de Martim Vaz e ao sul pela Zona de Fratura de 24°S. A área de estudo estende-se desde a Cordilheira Mesoatlântica até a Margem Continental Brasileira mostrando assim sua possível influência no arcabouço tectônico das bacias marginais e no bordo continental adjacente.

Nesse sentido, o estudo será embasado na análise de mapas geofísicos de batimetria predita, anomalia gravimétrica ar-livre, gradiente vertical gravitacional, isócronas magnéticas, anomalia magnética e gradiente vertical magnético em sua grande maioria provindos de bancos de dados internacionais. O próximo capítulo revisará os fundamentos teóricos dos métodos geofísicos empregados neste trabalho.

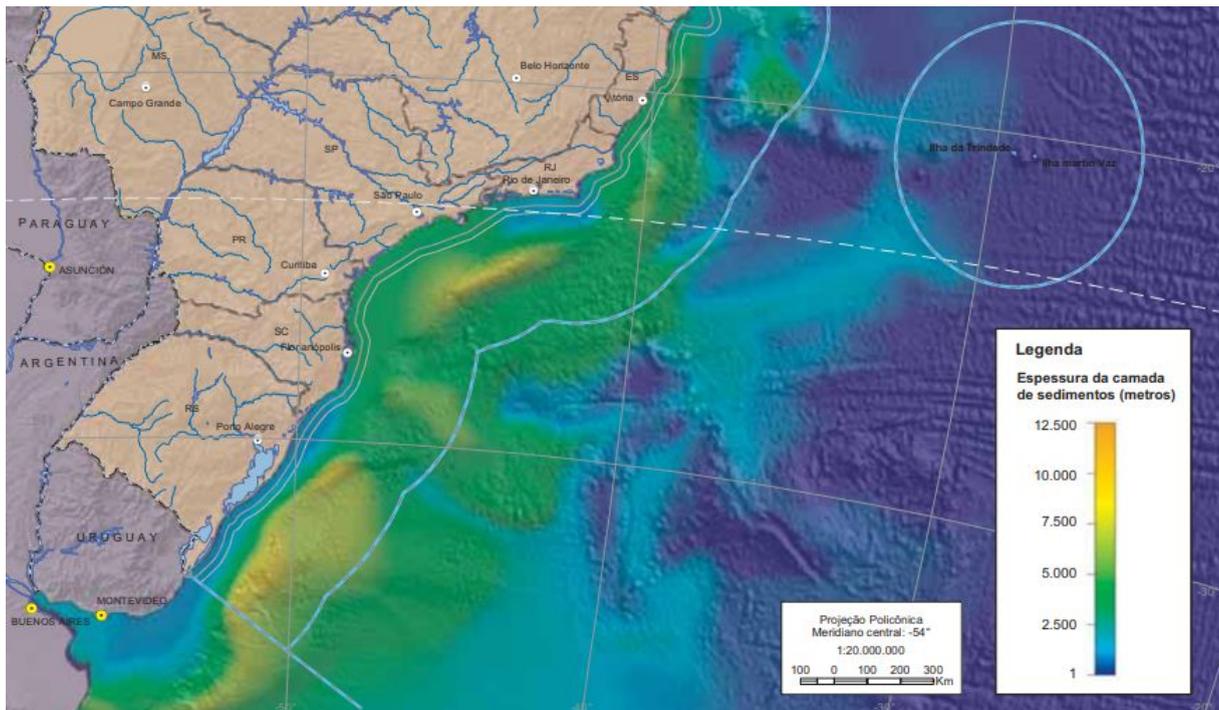


Figura 2: Espessura da camada de sedimentos (IBGE, 2011).

2. PRINCÍPIOS TEÓRICOS DOS MÉTODOS GEOFÍSICOS

A geofísica é uma ciência interdisciplinar que estuda o interior da Terra baseado nas medidas de suas propriedades físicas. O fluxo de trabalho de um profissional de geofísica consiste na aquisição, processamento e interpretação dos dados coletados por instrumentos específicos, com fins de se obter informações da subsuperfície (Thomas, 2004).

Em geofísica marinha, a batimetria é um método acústico utilizado para medir a profundidade dos oceanos. A gravimetria e a magnetometria, também chamadas de métodos potenciais, permitem reconhecer e mapear grandes estruturas geológicas do fundo mar em regiões ainda não muito bem conhecidas (Ayres et al., 2004).

2.1 BATIMETRIA

O estudo e uma melhor compreensão das bacias oceânicas foi proporcionado por avanços científicos e tecnológicos. Ainda assim, o fundo oceânico e algumas de suas feições fisiográficas permanecem pouco estudados (Alves, 2002). Até a década de 1920, os estudos de profundidade das lâminas d'água eram feitos usando linhas de sondagem. Só após a Segunda Guerra Mundial com o aperfeiçoamento dos ecobatímetros que pode-se ter conhecimento mais detalhado da morfologia dos leitos oceânicos (Turekian, 1968).

A ecobatimetria é um método acústico utilizado para medir a profundidade dos oceanos, onde um pulso acústico é emitido através de um transdutor fixo ao casco de um navio, o sinal viaja pelas camadas de água e reflete ao incidir no assoalho oceânico sendo detectado pelo sensor presente na embarcação. Sabendo o tempo de emissão e recepção do sinal e supondo que a velocidade do som na água é aproximadamente 1500 m/s encontra-se a profundidade na área estudada (Ayres et al., 2004: Figura 3).

Baseado nesta nova técnica de medição indireta do fundo marinho, Heezen et al. (1959) com o auxílio de dados batimétricos definiram as três principais feições fisiográficas comum a todos os oceanos: as margens continentais, as bacias oceânicas e as cordilheiras mesoocênicas (Figura 4).

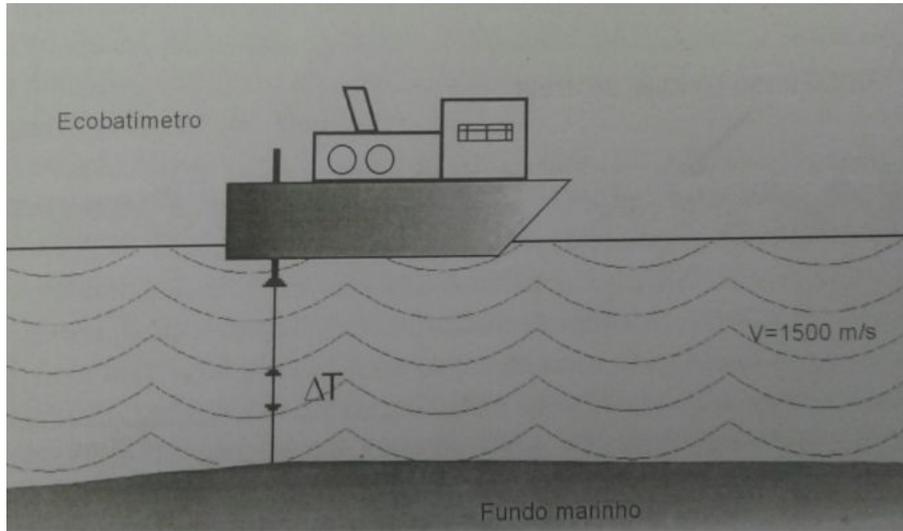


Figura 3: Elementos da batimetria (Ayres et al., 2004).

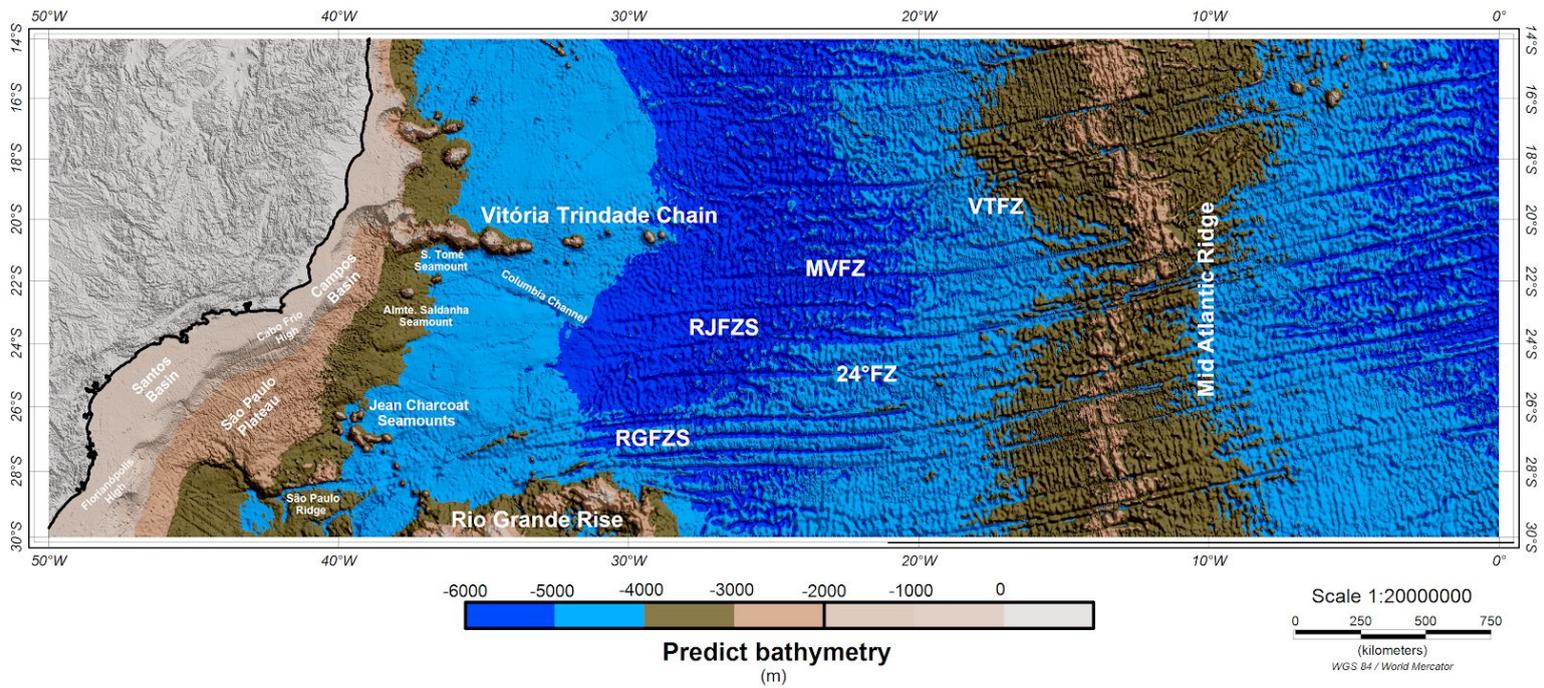


Figura 4: Mapa batimétrico do Atlântico Sul e suas principais feições fisiográficas.

2.2 GRAVIMETRIA

O método gravimétrico utiliza como base a Lei da Gravitação de Newton (eq. 1), que relaciona a força de atração entre duas massas m_1 e m_2 como uma força proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que os separa.

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$
$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2 \quad (\text{eq. 1})$$

onde G é a Constante Gravitacional.

A Segunda Lei de Newton (eq. 2), princípio fundamental da Dinâmica, diz que a força se relaciona com a massa por meio de uma aceleração. A aceleração gravitacional (eq. 3) com que m_2 é atraída por m_1 é calculada igualando as equações 1 e 2.

$$F = m_2 \cdot a \quad (\text{eq. 2})$$

$$a = G m_1 / r^2 \quad (\text{eq. 3})$$

Considerando uma Terra esférica, estática, homogênea, de massa m_1 e raio r , a aceleração gravitacional seria constante. No entanto, uma série de fatores como: latitude, elevação, topografia, marés e variações de densidade em subsuperfície fazem com que a gravidade varie em sua superfície. Este último é o único que interessa na exploração gravimétrica. Por isso, são aplicadas correções que eliminem os efeitos descritos num processo denominado de redução gravimétrica, restando apenas os efeitos provocados pela variação de densidade em subsuperfície.

A unidade de aceleração usual adotada em Geofísica é o Gal ($1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$) em homenagem à Galileu. Sendo frequente o emprego dos submúltiplos mGal ($1 \text{ mGal} = 10^{-3} \text{ gal} = 10^{-3} \text{ cm/s}^2$). As medições da aceleração da gravidade são efetuadas utilizando-se gravímetros, que são equipamentos extremamente sensíveis possuindo em seu interior uma massa suspensa presa a uma mola. Esta mola distende-se mais ou menos dependendo da aceleração gravitacional no ponto observado.

O método gravimétrico consiste nas medições e interpretação das distorções (anomalias) do campo gravitacional terrestre provocadas pelas diferentes distribuições de densidade em subsuperfície. Os dados de gravimetria podem ser utilizados para facilitar e auxiliar o mapeamento das estruturas, demarcando melhor a continuidade das feições associadas ao Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro.

2.3 MAGNETOMETRIA

O levantamento magnético consiste em medir as distorções dos elementos (intensidade, declinação e inclinação) do campo magnético da Terra provocadas pelas concentrações de minerais magnéticos nas rochas da crosta. Essas medições podem ser realizadas tanto em terra quanto no ar e caracterizam-se pelo baixo custo e rapidez dos levantamentos.

O planeta Terra produz um campo magnético assim como uma corrente elétrica que passa por um fio condutor produz campo magnético. Analisando o fluxo magnético ao redor de uma barra magnética, a força F (eq. 4) entre dois pólos magnéticos de intensidades m_1 e m_2 , separados por uma distância r é dada por:

$$F = \frac{\mu_0 m_1 m_2}{4\pi\mu_R r^2} \quad (\text{eq.4})$$

onde μ_0 e μ_R são constantes que representam a permeabilidade magnética no vácuo e a permeabilidade magnética relativa do meio que separa os pólos. A força é atrativa se os pólos são de sinais diferentes e repulsiva se eles têm o mesmo sinal. O campo magnético B (eq. 5) devido a um pólo de intensidade m a uma distância r do pólo, é definido como a força exercida por um pólo positivo unitário naquele ponto

$$B = \frac{\mu_0 m}{4\pi\mu_R r^2} \quad (\text{eq.5})$$

onde a unidade de medida do campo B é expresso no sistema cgs em Gauss (G) ou 10^{-4} Tesla (T) no Sistema Internacional (S.I). A última unidade é muito grande para quantificar as amplitudes das anomalias magnéticas produzidas pelas rochas, portanto, usualmente utiliza-se a sub-unidade o nanotesla (nT) onde $1 \text{ nT} = 10^{-9} \text{ T}$.

A intensidade da magnetização induzida (eq. 6) é proporcional à intensidade da força B do campo indutor:

$$J_i = kH \quad (\text{eq.6})$$

onde k é susceptibilidade magnética do material. J_i e H são medidos em Am^{-1} , a susceptibilidade não tem dimensão no sistema S.I.

A agulha de uma bússola apontará na direção do campo geomagnético e fará um ângulo entre a vertical e o norte geográfico. Os três elementos do campo geomagnético são descritos na Figura 5. O vetor campo total B possui componentes vertical Z e horizontal H. O mergulho de B é a inclinação I do campo, e a declinação magnética D é o ângulo entre o norte verdadeiro e o norte magnético (Kearey et al., 2009) .

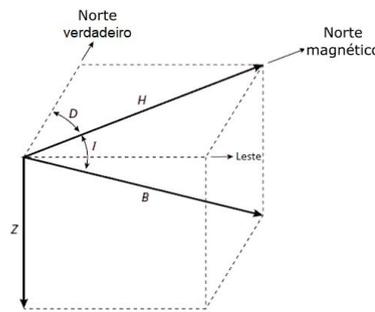


Figura 5: Elementos do campo geomagnético (Kearey et al., 2009).

A resposta magnética das rochas e minerais é obtida através da susceptibilidade magnética, caracterizado como um dos principais parâmetros físicos do método magnético. Geralmente, as rochas básicas são as mais magnéticas devido a um conteúdo maior de magnetita.

Um outro tipo de magnetização é adquirida durante a formação da rocha, onde ao se resfriar abaixo da temperatura de Curie, os minerais magnéticos da rocha adquirem uma magnetização permanente e atuam mesmo na ausência do campo magnético indutor. Tal magnetização é denominada de magnetização termo-remanente, e é a base do método paleomagnético.

As medições do campo magnético são efetuadas utilizando-se os magnetômetros que medem as componentes geomagnéticas Z, H e B podendo ser efetuadas em terra, por aviões, satélite e em navios. Em termos comparativos, o levantamento magnético é mais fácil e barato de ser conduzido do que o levantamento gravimétrico.

Assim como as anomalias gravimétricas tendem a se sobrepor ao campo gravitacional da Terra, as anomalias magnéticas sobrepõe ao campo geomagnético. Para se isolar a componente do campo geomagnético devido a corpos magnetizados em subsuperfície, é necessário que seja removido o efeito da variação diurna, correção geomagnética, correção de elevação e de terreno.

O método magnetométrico é uma das principais ferramentas que ajudaram na comprovação da teoria da tectônica de placas. Com este método é possível quantificar os deslocamentos das placas ocorridos através do tempo geológico através das reversões de polaridade do campo geomagnético (Heirtzler et al., 1968).

As planícies abissais dos oceanos são cortadas por imensas ZFOs que segmentam o eixo das CMO, se prolongando para as margens continentais por extensões que podem atingir milhares de quilômetros. Uma ZFO é composta por uma falha transformante ativa, situada entre as extremidades de segmentos de uma CMO, bem como seus prolongamentos inativos, traços fósseis de falhas transformantes (Alves, 2002).

Estas porções inativas colocam em contato litosferas com estruturas termais e idades diferentes, e sua distribuição pode ser mapeada magneticamente, visto que a alternância de polaridade do campo geomagnético fica registrada nas rochas, simetricamente em ambos os lados de uma CMO, provando assim a expansão do assoalho oceânico (Vine & Matthews, 1963).

3. ZONAS DE FRATURA OCEÂNICAS

As cordilheiras mesoceânicas (CMOs) são descritas como feições descontínuas ao longo de toda a sua extensão e estão inseridas nas fronteiras de placas acrescionárias ou construtivas (Kearey et al., 2014). O deslocamento desses centros de expansão de crosta oceânica nos processos iniciais de separação dos continentes dá origem às ZFOs como sugere Wilson (1965). Sob outra perspectiva, Collette (1979) sugere que as ZFOs são resultado da contração térmica em direção ao eixo da CMO.

Menard (1954) define as ZFOs como uma série de estreitas e longas porções de topografia não regular de escarpas e cadeias lineares. Heirtzier et al. (1968) classificam como zonas de fraqueza litosférica, geralmente ortogonais ao eixo da dorsal mesoceânica, que segmentam trechos litosféricos de diferentes idades. Alves (2002) estabelece que as ZFOs são limites de compartimentação tectônica do fundo oceânico que cortam e segmentam o eixo das CMOs, e seus prolongamentos para as margens continentais atingem milhares de quilômetros.

Morfologicamente, as ZFOs podem ser caracterizadas pela presença de dois importantes segmentos: a falha transformante e suas extensões inativas. A região da CMO é conhecida por ser uma região tipicamente ativa, onde a falha transformante segmenta os eixos de acreção da cordilheira (Wilson, 1965). Por outro lado, a região inserida ao longo da continuidade dos traçados fósseis das falhas transformantes é marcada por pouca sismicidade (Kastens, 1987: Figura 6). No entanto, as zonas de fratura estão sujeitas a reativações tectono-magmáticas ao longo de sua extensão (Macdonald et al., 1991).

A dragagem das ZFOs revelou uma ampla variedade de rochas ultramáficas, basálticas e metamórficas (Fox et al., 1976). Segundo Kearey et al. (2014), a intrusão de serpentinito é bastante comum nas calhas das ZFOs promovidas pela circulação de água. Essa serpentinização do manto superior provoca uma redução das velocidades sísmicas abaixo das zonas de fratura oceânicas (White et al., 1984).

Um das principais lacunas no estudo das ZFOs é compreender o papel do prolongamento destas zonas na margem continental tendo em vista os significativos volumes de sedimento que mascaram as assinaturas gravimétricas (e.g., Sandwell et al., 2014) e sua possível influência na geração de importantes feições oceânicas bem como na compartimentação das bacias sedimentares marginais.

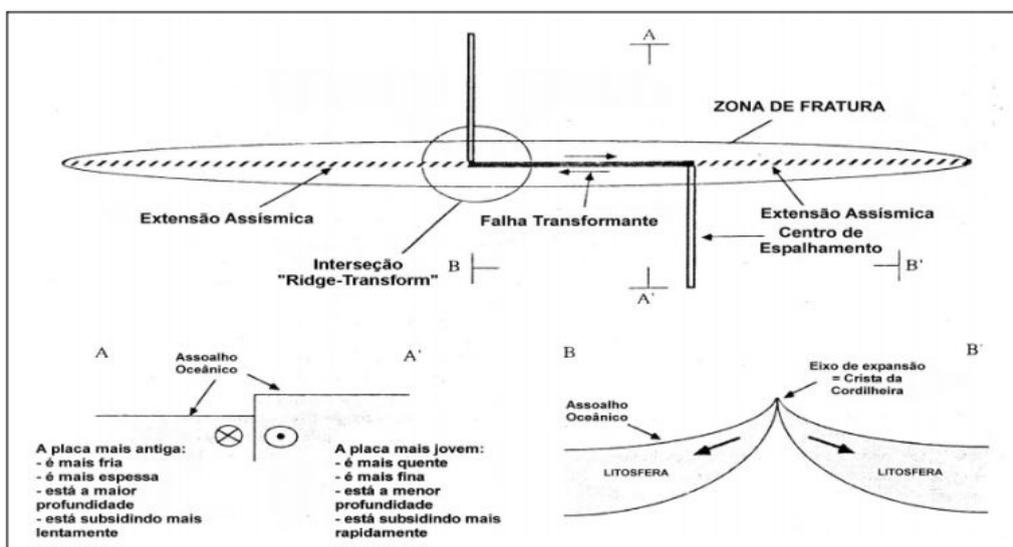


Figura 6: Zonas de Fratura Oceânicas e seus aspectos morfológicos estruturais (modificado de Kastens, 1987).

3.1 SISTEMA DE ZONAS DE FRATURA DO RIO DE JANEIRO

Na região da Cordilheira Mesoatlântica, o SZFRJ (Figura 7) situa-se aproximadamente entre as latitudes 21°S e 23°S e foi mapeado por Cande et al. (1988) tendo seu traçado morfológico estendido até a margem continental sudeste brasileira por Alves (2002). De modo geral, grande parte dos conhecimentos a respeito do SZFRJ são advindos do trabalho pioneiro de Alves (2002) que caracterizou este sistema de zonas de fratura como umas principais discontinuidades do Atlântico Sul.

Pode-se observar morfológicamente que, nas cercanias da CMO, o SZFRJ é marcado por três discontinuidades transformantes (Cande et al., 1988) que estendem-se na direção E-W, denominadas por Alves (2002) de sul para norte, respectivamente como ZFRJ1, ZFRJ2 e ZFRJ3. A falha transformante de ZFRJ1 apresenta 110 km de comprimento, já o segmento transformante ZFRJ2 um deslocamento de 120 km enquanto que a ZFRJ3 apresenta um rejeito de apenas 40 km.

Uma análise integrada baseada nos mapas de batimetria predita, isócronas magnéticas e anomalia ar livre permitiu concluir que o compartimento tectônico não se manteve estável por muito tempo apresentando uma inflexão entre 60 e 80 Ma na sua orientação da direção E-W para ENE-WSW, em conformidade com outras ZFOs do Atlântico Sul (Alves, 1981; Alves, 2002). Além disso, o SZFRJ se torna duplo a partir da isócrona de 80 Ma e tais mudanças no padrão evolutivo podem ser correlacionados a uma reorganização da dinâmica de tectônica global.

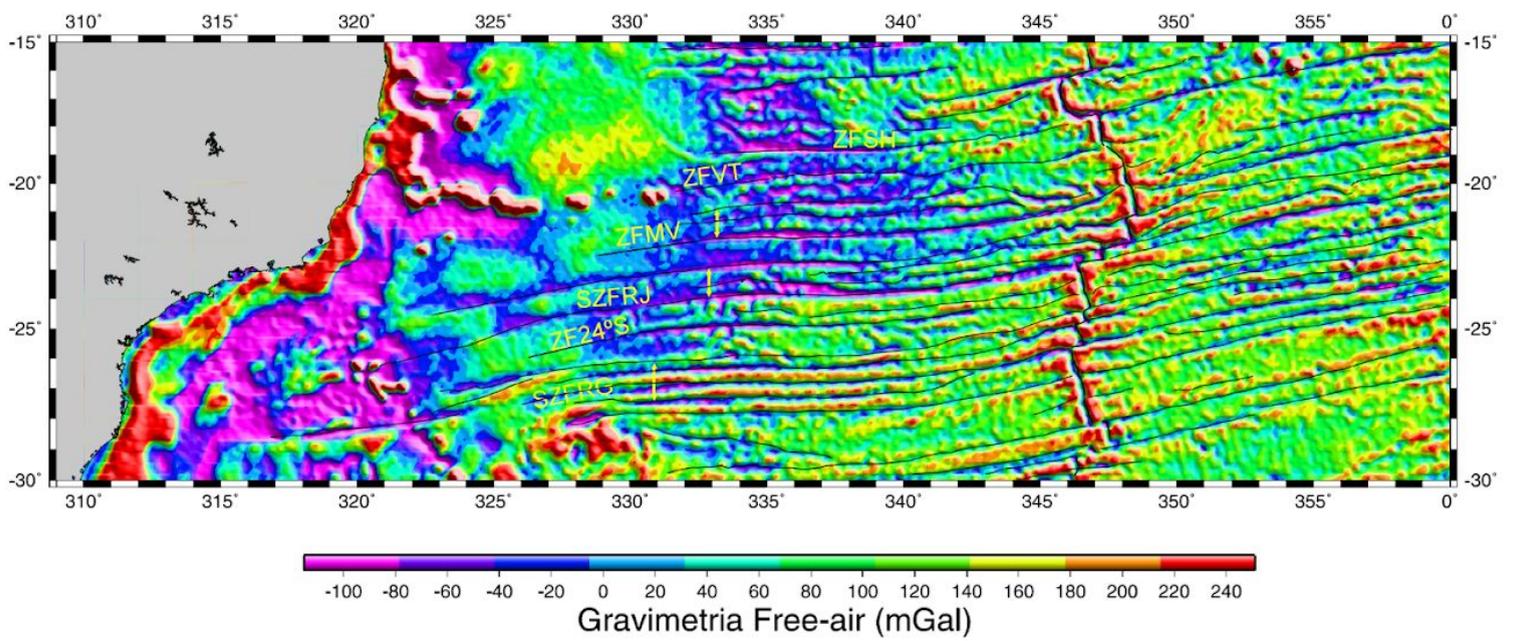


Figura 7: Mapa de Gravimetria Ar-Livre derivado da altimetria de satélite (Sandwell & Smith, 1997). Traçado das principais zonas de fratura do Atlântico Sul elaborado por Alves (2002).

4. METODOLOGIA

Este capítulo vem elucidar como se deu a compilação dos dados geofísicos nos bancos de dados internacionais, as etapas de processamento e construção dos mapas que serão a base para a análise do comportamento geofísico do Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro ao longo de toda a sua extensão compreendida entre a região da Cordilheira Mesoatlântica e a Margem Continental Brasileira por meio da análise integrada de mapas geofísicos de batimetria predita, anomalia gravimétrica ar-livre, gradiente vertical gravitacional, isócronas magnéticas, anomalia magnética e gradiente vertical magnético.

4.1 DADOS BATIMÉTRICOS

Segundo Silva (2013), batimetria digital é um termo empregado para denominar grids de topografia global provenientes de dados batimétricos reais. Os dados de batimetria predita de Smith & Sandwell (1997), versão 19.1, são derivados da altimetria de satélite/sondagens de navio e foram adquiridos no formato *ASCII XYZ* a partir de grids globais de 1 minuto através do site: https://topex.ucsd.edu/cgi-bin/get_data.cgi vinculado ao *Scripps Institution of Oceanography*.

O arquivo de dados utilizado para a elaboração do mapa batimétrico do Atlântico Sul e suas principais feições fisiográficas (Figura 4) foi carregado no *software* Oasis Montaj, através de uma licença acadêmica cedida pela empresa de serviços *Geosoft Incorporated*. A resolução espacial destes dados, permitiu a uma melhor visualização das principais feições fisiográficas desde a cordilheira mesoceânica até a margem continental brasileira.

4.2 DADOS GRAVIMÉTRICOS

O *grid* de interpolação que possibilitou a concepção do mapa de anomalia ar livre (Figura 8) corresponde à versão 23-1 do conjunto de dados de Sandwell & Smith (1997) sendo obtido através da ferramenta *Geosoft Seeker* no *software* Oasis Montaj. Com o intuito de analisar a evolução morfoestrutural ao longo do SZFRJ, buscou-se traçar uma série de perfis (Figura 9), estendendo-se desde a Cordilheira Mesoatlântica até a Margem Continental Brasileira.

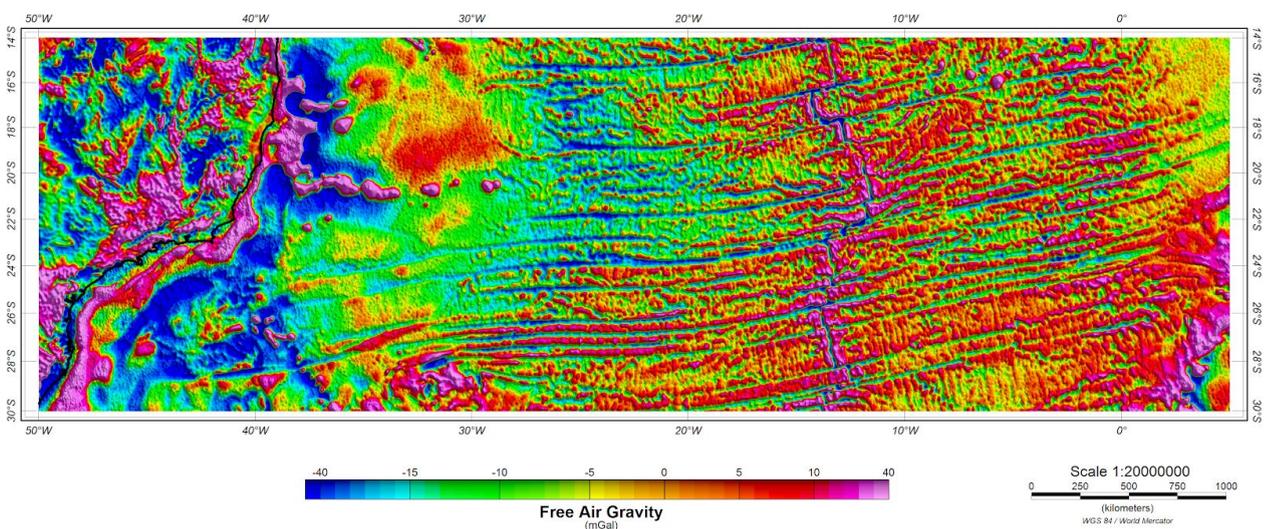


Figura 8 - Mapa gravimétrico de anomalia Ar-Livre.

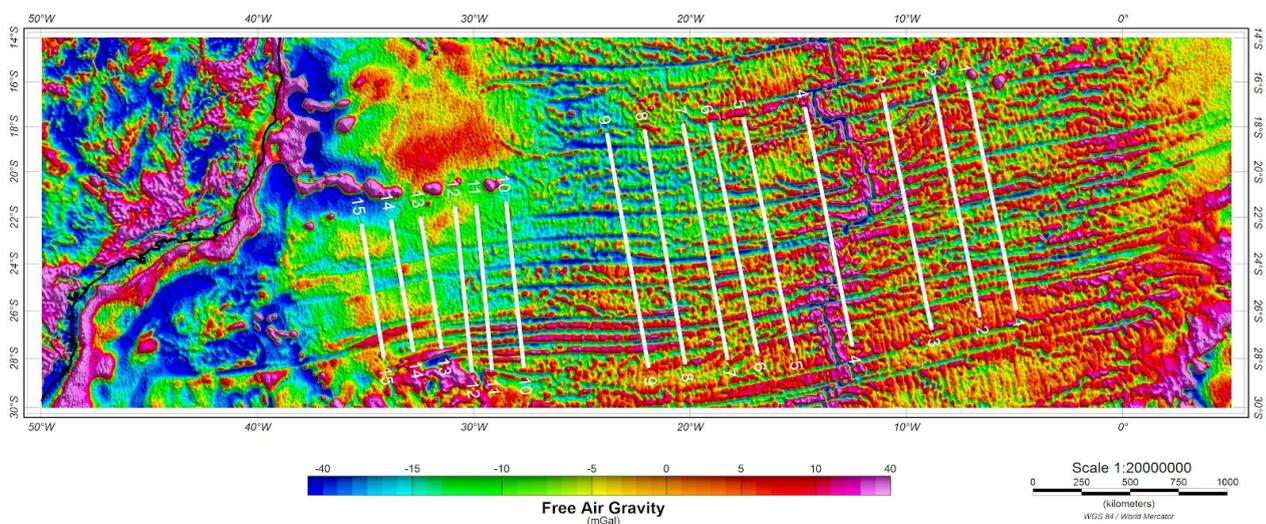


Figura 9 - Mapa gravimétrico de anomalia Ar-Livre com os perfis representados por linhas brancas.

A análise estatística do conjunto de dados oriundos do mapa de anomalia ar livre permitiu caracterizá-los como um dado semi-estacionário em decorrência do histograma, apesar de possuir uma certa assimetria, apresenta um comportamento seguindo aproximadamente uma distribuição gaussiana, tendo em vista que a média e a mediana praticamente coincidem neste contexto geológico, isso pode ser evidenciado no resumo estatístico e histograma presentes na Figura 10.

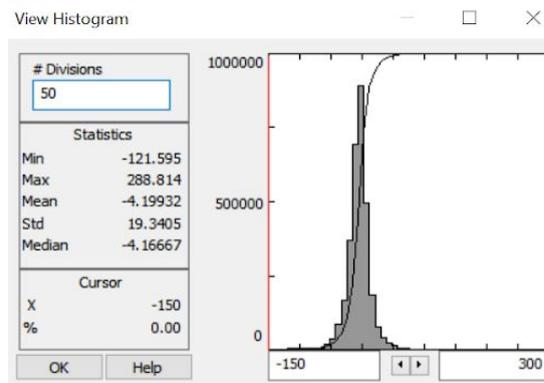


Figura 10 - Histograma e resumo estatístico do conjunto de dados de anomalia gravimétrica de ar livre.

Com base nisso foi possível aplicar uma operação de filtragem nos dados de anomalia gravimétrica de ar livre, buscando assim realçar as altas frequências e, conseqüentemente, melhorar a visualização bem como a continuidade do SZFRJ, tal filtro é denominado de derivada vertical. O mapa resultante deste processo representado na Figura 11 é intitulado como mapa do gradiente vertical gravitacional, também conhecido como mapa VGG.

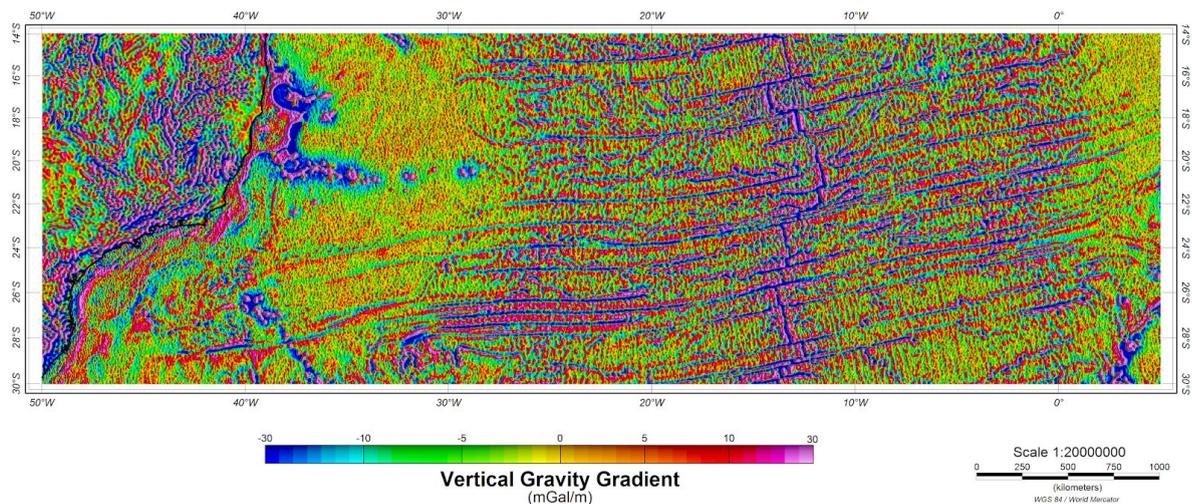


Figura 11 - Mapa do gradiente vertical gravitacional.

4.3 DADOS MAGNETOMÉTRICOS

O *grid* de anomalia magnética da Terra foi adquirido no *National Geophysical Data Center* (NGDC/NOAA) através da ferramenta *Geosoft Seeker* no *software Oasis Montaj* e refere-se ao modelo geomagnético *Earth Magnetic Anomaly Grid* (EMAG2). Segundo Lynn, 1976 apud Silva, 2013, as ZFOs são caracterizadas por amplas anomalias magnéticas que aparecem distintas das proeminentes anomalias do espalhamento do assoalho oceânico, pois interrompem esse padrão, causando um deslocamento nas anomalias magnéticas da crosta

oceânica. O mapa de anomalia magnética da Terra (Figura 12) derivado deste grid será mais uma metodologia que permitirá uma melhor caracterização e continuidade do SZFRJ.

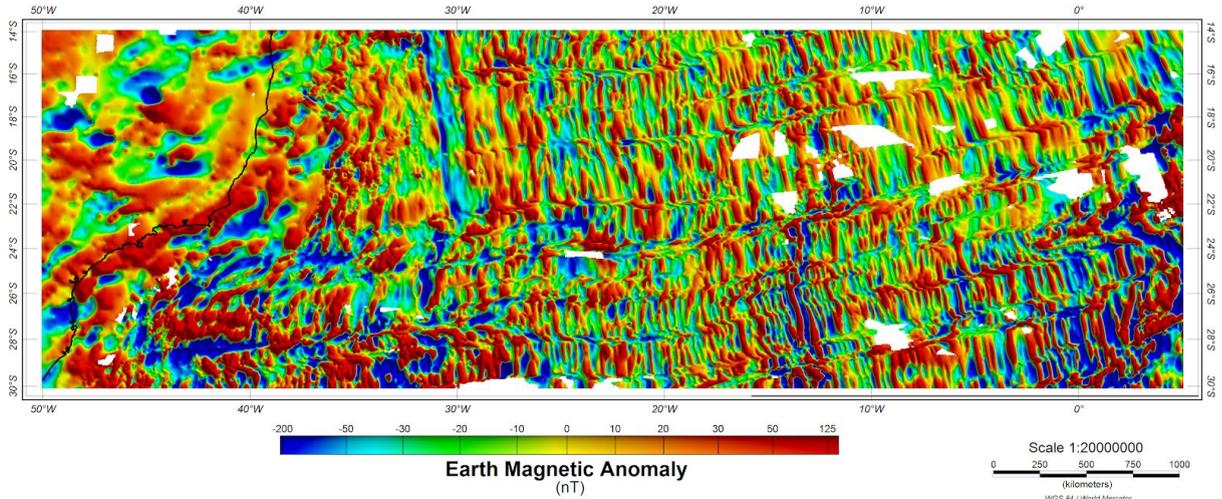


Figura 12 - Mapa de anomalia magnética da Terra.

De modo similar à análise estatística realizada nos dados de anomalia ar livre, verifica-se que o histograma do conjunto de dados de anomalia magnética da Terra, mesmo apresentando uma certa assimetria, possui uma distribuição aproximadamente normal. A semi estacionaridade deste dado fica evidente a partir do resumo estatístico da Figura 13, considerando que para esse cenário amostral a média e a mediana serem praticamente coincidentes.

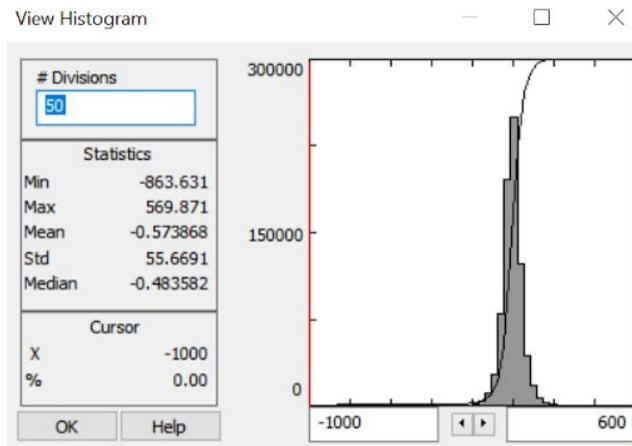


Figura 13 - Histograma e resumo estatístico do conjunto de dados de anomalia magnética da Terra.

Tendo como base as informações acima, utilizou-se o filtro da derivada vertical nos dados de anomalia magnética da Terra, como visto anteriormente tal operação de filtragem permite ressaltar as altas frequências e, por conseguinte, uma melhor caracterização e

definição dos prolongamentos das zonas de fratura mapeadas. O mapa oriundo deste processo foi denominado como mapa do gradiente vertical magnético (Figura 14).

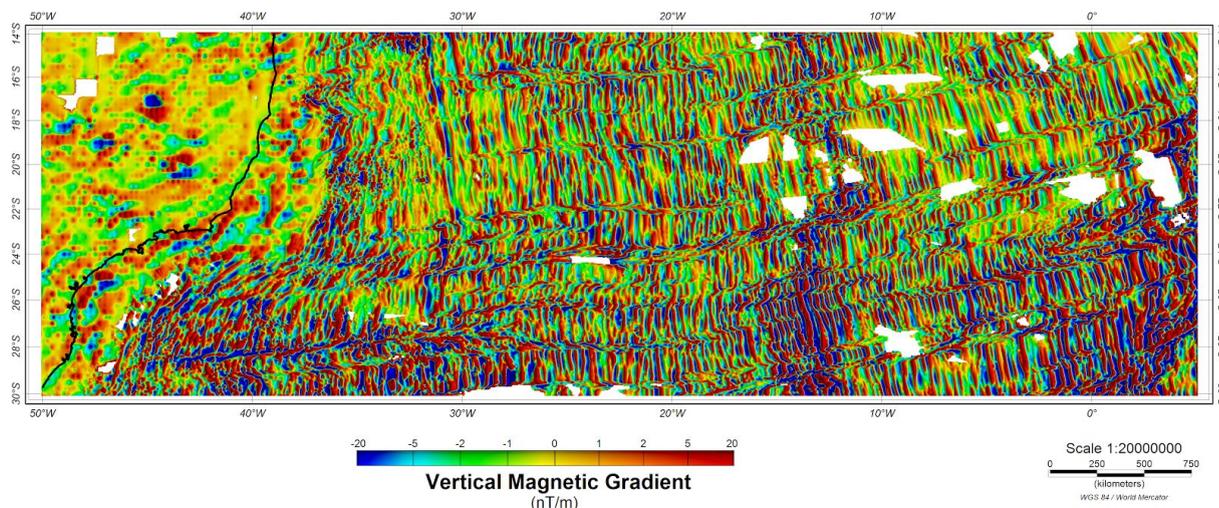


Figura 14 - Mapa do gradiente vertical magnético.

Os dados de isócronas magnéticas do assoalho oceânico são derivados dos trabalhos de Müller, R. D., M. Sdrolias, C. Gaina & W. R. Roest (2008) e foram adquiridos no formato *ASCII XYZ* a partir de grids globais de dois minutos através do site: https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/ocean_age/data/2008/grids/age/ vinculado ao *National Geophysical Data Center (NGDC) / National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)*.

O arquivo de dados com as isócronas foi carregado no *software* Oasis Montaj e teve como produto final, o mapa da Figura 15 onde podem ser visualizadas as idades da litosfera oceânica do Atlântico Sul. A análise dos contornos das isócronas revela que os seus deslocamentos são provocados pelas ZFOs como resposta à continuidade do processo de abertura que gerou o oceano Atlântico, sendo uma importante ferramenta de apoio na integração com os demais mapas na caracterização da evolução morfotemporal do SZFRJ.

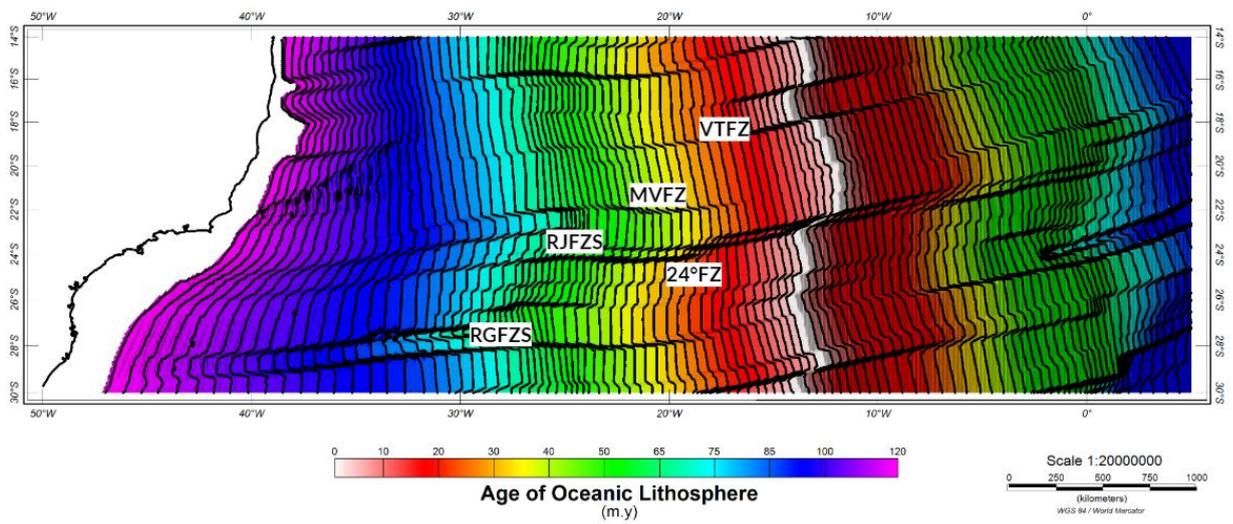


Figura 15 - Mapa de isócronas magnéticas da litosfera oceânica. Neste mapa observa-se o traçado das principais zonas de fratura do Atlântico Sul, são elas: ZF de Sta. Helena (ZFSH), ZF de Vitória-Trindade (ZFVT), ZF de Martim Vaz (ZFMV), o Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro (SZFRJ), ZF de 24°S (ZF24°S) e o Sistema de Zonas de Fratura do Rio Grande (SZFRG).

5. RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÃO

O mapa de batimetria predita do Atlântico Sul e suas principais feições morfológicas (Figura 4) permitiu uma ampla visualização do contexto geológico em que se insere o SZFRJ desde a cordilheira mesoceânica até as proximidades do bordo continental. A partir da análise morfoestrutural (Figura 16) do SZFRJ por meio do mapa de anomalia gravimétrica de ar livre, foi possível confirmar assim como Cande et al. (1988) e Alves (2002) a existência de três segmentos transformantes na região da Cordilheira Mesoatlântica.

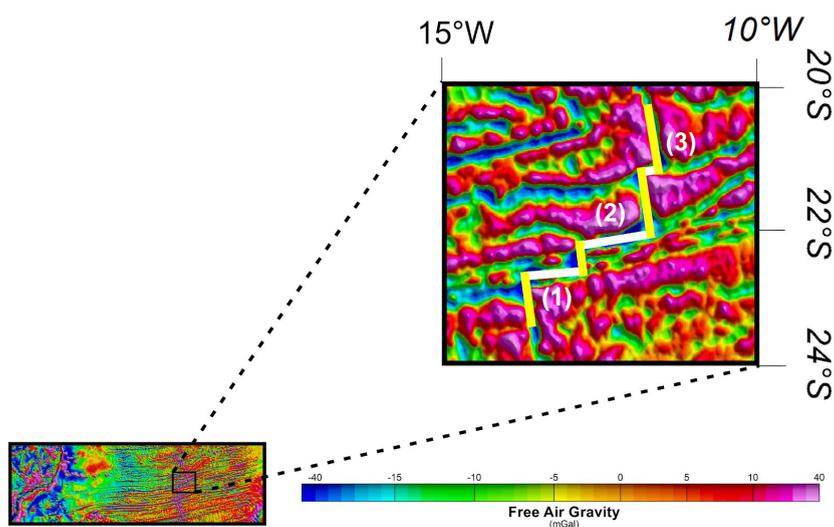


Figura 16: Análise morfoestrutural através do mapa de anomalia ar livre. Em destaque, o esboço dos três segmentos transformantes do SZFRJ.

Neste trabalho monográfico de conclusão de curso buscou-se manter a nomenclatura adotada por Alves (2002), a qual denominou os segmentos do SZFRJ de sul para norte, como: ZFRJ1, ZFRJ2 e ZFRJ3. Entretanto, uma melhoria na qualidade dos dados com o refinamento das técnicas de processamento permitiu ampliar a resolução dos mapas, sendo possível conferir acurácia em relação às magnitudes destas zonas de cisalhamento, a falha transformante da ZFRJ1 possui na realidade 100 km de deslocamento na cordilheira. O segmento transformante da ZFRJ2 apresenta 125 km de comprimento. O rejeito entre as cristas da dorsal na ZFRJ3 possui 40 km de deslocamento.

A análise integrada da continuidade dos segmentos fósseis do SZFRJ por intermédio de um esboço no mapa do gradiente vertical gravitacional (Figura 17) e das relações morfotemporais do mapa VGG associado aos contornos das isócronas magnéticas (Figura 18), mostra a ocorrência de importantes modificações no processo evolutivo desta proeminente descontinuidade litosférica do Atlântico Sul.

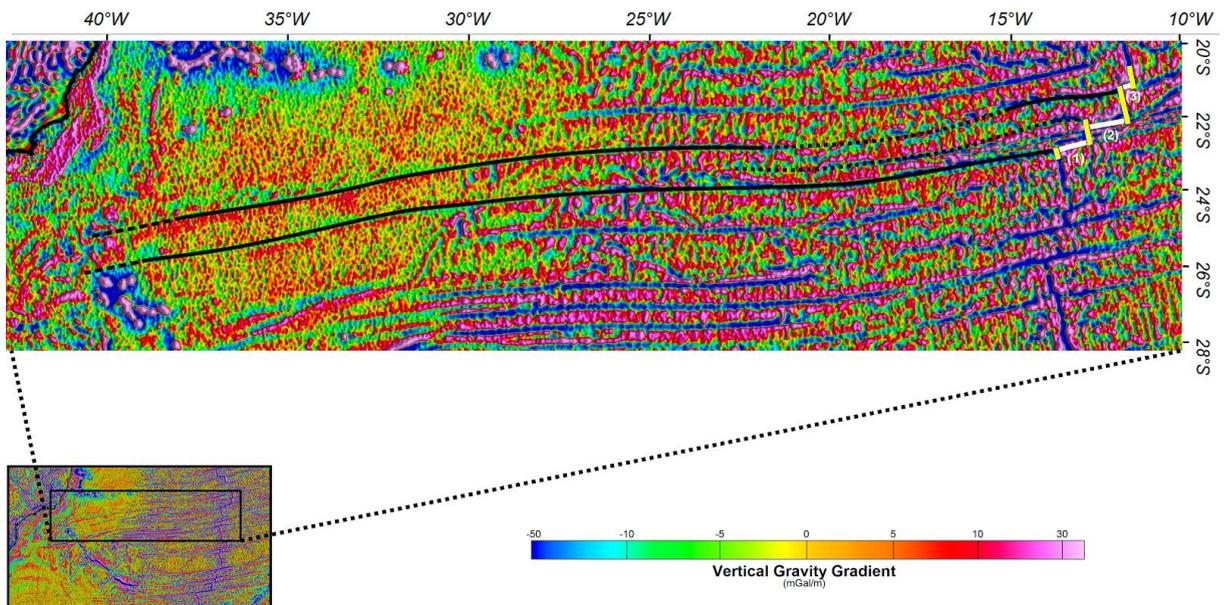


Figura 17: Análise morfoestrutural através do mapa do gradiente vertical gravitacional e o esboço dos três segmentos transformantes do SZFRJ bem como os seus respectivos prolongamentos.

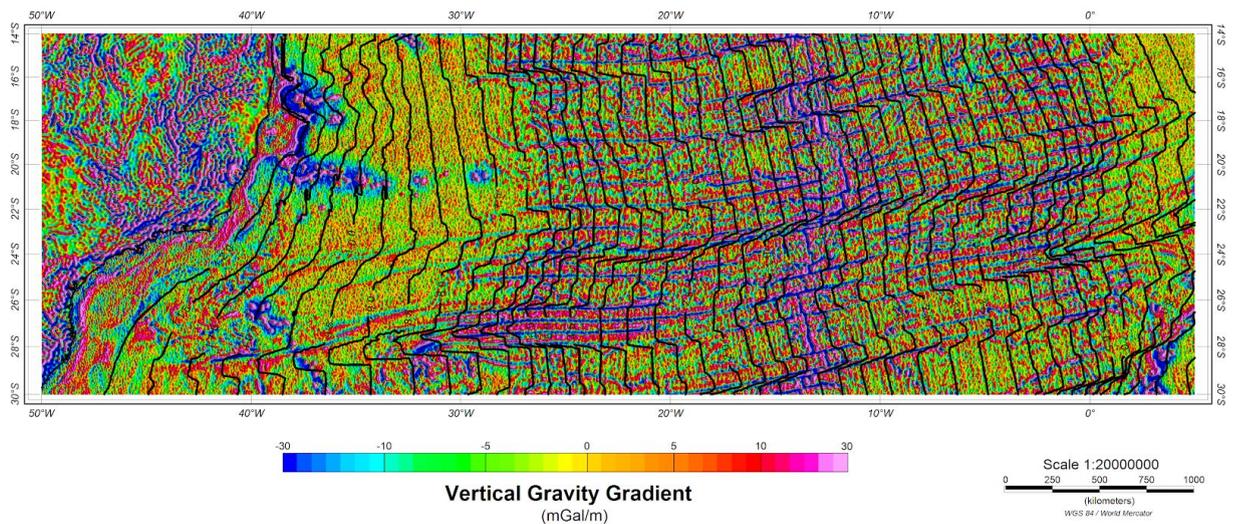


Figura 18: Mapa do gradiente vertical gravitacional com os contornos das isócronas magnéticas sendo possível estabelecer uma relação temporal dos principais eventos ocorridos ao longo do processo evolutivo do SZFRJ.

Baseado na análise conjunta das Figuras 17 e 18 é possível interpretar que a caracterização gravimétrica dos prolongamentos fósseis da ZFRJ1 e da ZFRJ3 fica prejudicada por volta da isócrona de 105 Ma nas proximidades do bordo continental brasileiro. Esse resultado é coerente com a previsão de Sandwell et al. (2014) devido ao fato que próximo à margem continental tende a ocorrer uma intensa sedimentação e, portanto, isso dificulta a caracterização gravimétrica dos prolongamentos das ZFOs.

Outra importante modificação na compartimentação tectônica do SZFRJ também evidenciada através da análise das Figuras 17 e 18 é a mudança do pólo de rotação da placa ocorrida entre 80 Ma e 50 Ma. Além disso, verifica-se o desenvolvimento da ZFRJ2 por volta de 50 Ma sugerindo uma provável correlação da modificação do pólo de rotação da placa com o desenvolvimento da ZFRJ2. Tal afirmação é corroborada por Kearey et al. (2014) que sugerem que uma falha transformante poderia ser desenvolvida a partir de pequenas mudanças no pólo de rotação da placa. Nesse sentido, Alves (2002) atribui que tais modificações podem ser associadas a uma dinâmica de tectônica de reorganização global.

A análise dos perfis traçados no mapa de anomalia ar livre (Figura 9) permitiu um estudo mais detalhado da compartimentação tectônica do SZFRJ. Os perfis 1, 2 e 3 (Figura 19) e perfis 4, 5, 6 (Figura 20) foram traçados nas adjacências da Cordilheira Mesoatlântica. Com isso, podemos ratificar que o SZFRJ é um sistema composto por três falhas transformantes, cujos prolongamentos fósseis podem ser identificados tanto para leste, quanto para oeste da cordilheira.

Os perfis mostram também que o compartimento tectônico do SZFRJ possui uma largura que varia de 200 a 250 km. Nesse contexto, o SZFRJ sofreu uma importante modificação tectônica a 50 Ma, onde deixou de ser um sistema triplo de ZF e tornou-se um sistema duplo de ZF conforme o perfil 9 (Figura 21). Alves (2002), em sua tese de doutorado, atribui que essas modificações na compartimentação tectônica do Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro podem ser relacionadas à variações no suprimento magmático, mudanças nas velocidades de expansão da placa, ou até mesmo uma reorganização na dinâmica tectônica global.

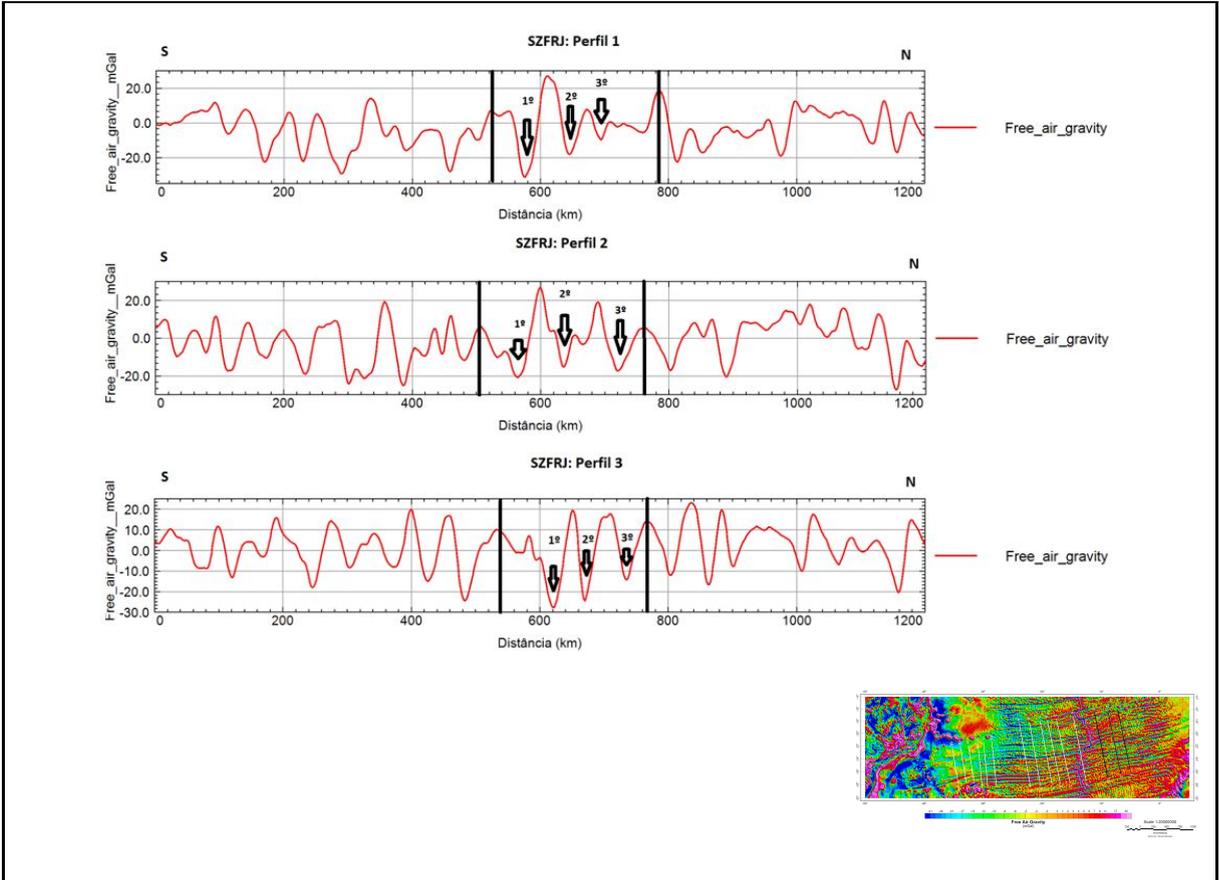


Figura 19: Perfis gravimétricos 1, 2 e 3.

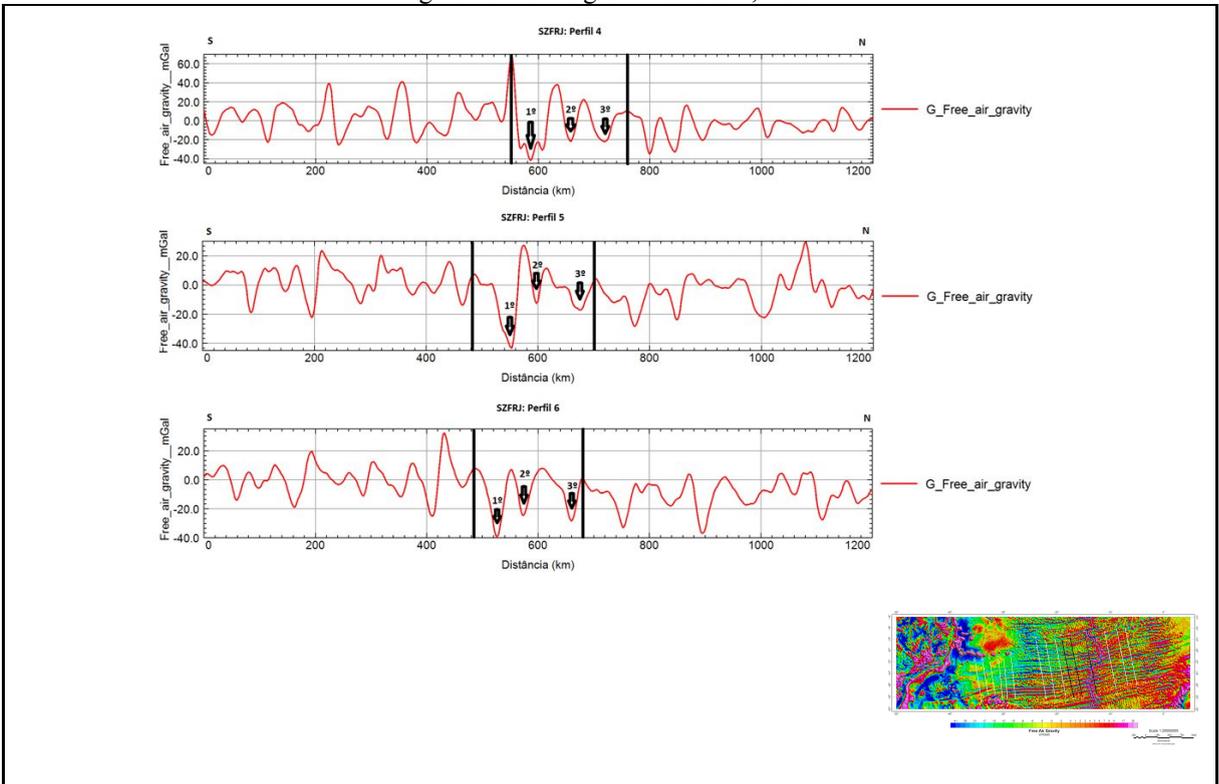


Figura 20: Perfis gravimétricos 4, 5 e 6.

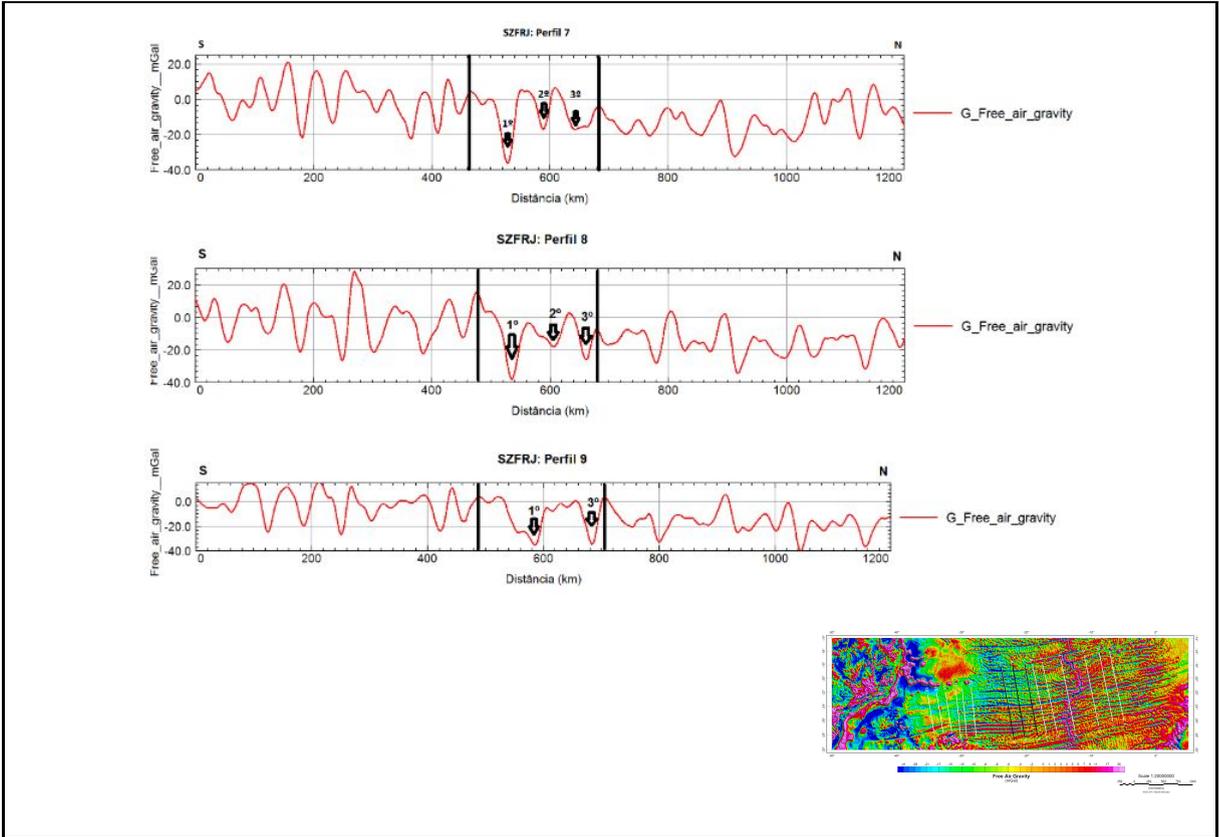


Figura 21: Perfis gravimétricos 7, 8 e 9.

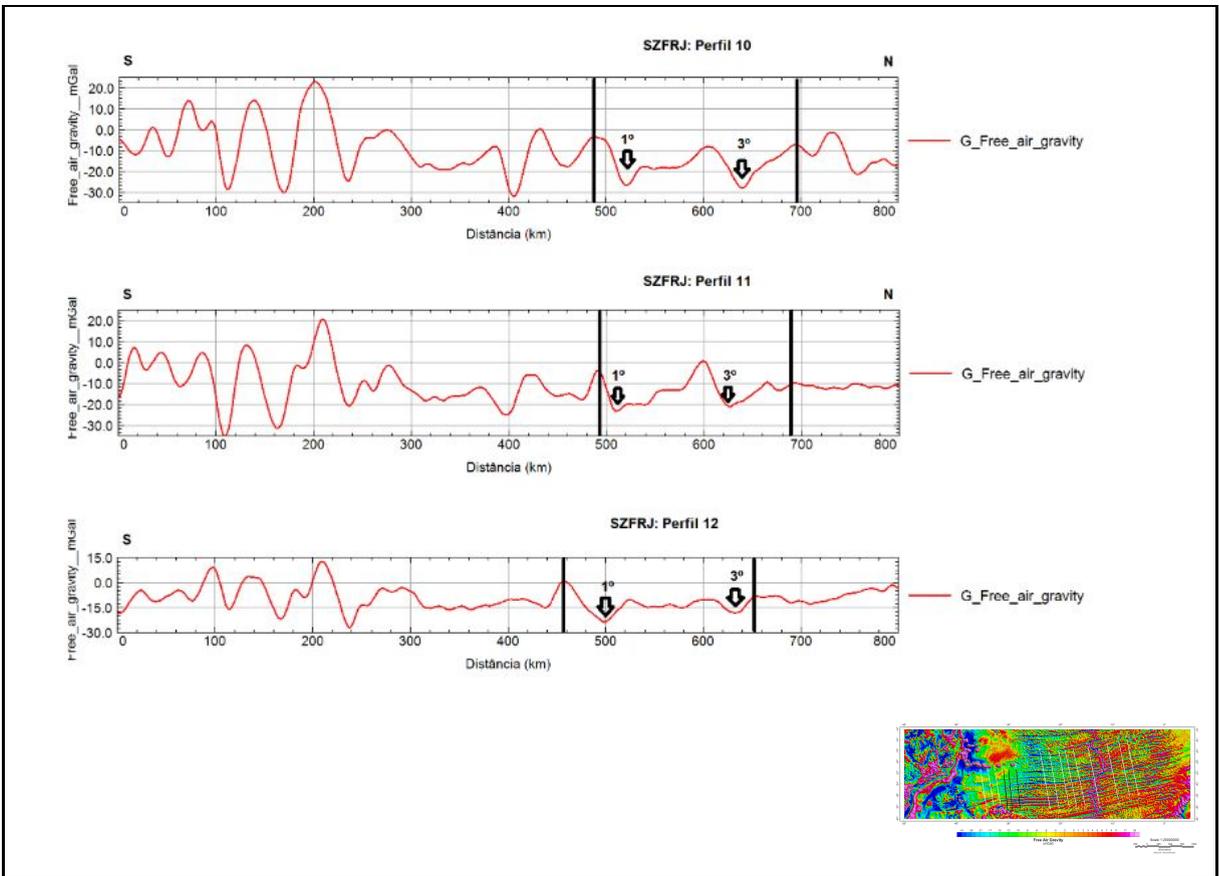


Figura 22: Perfis gravimétricos 10, 11 e 12.

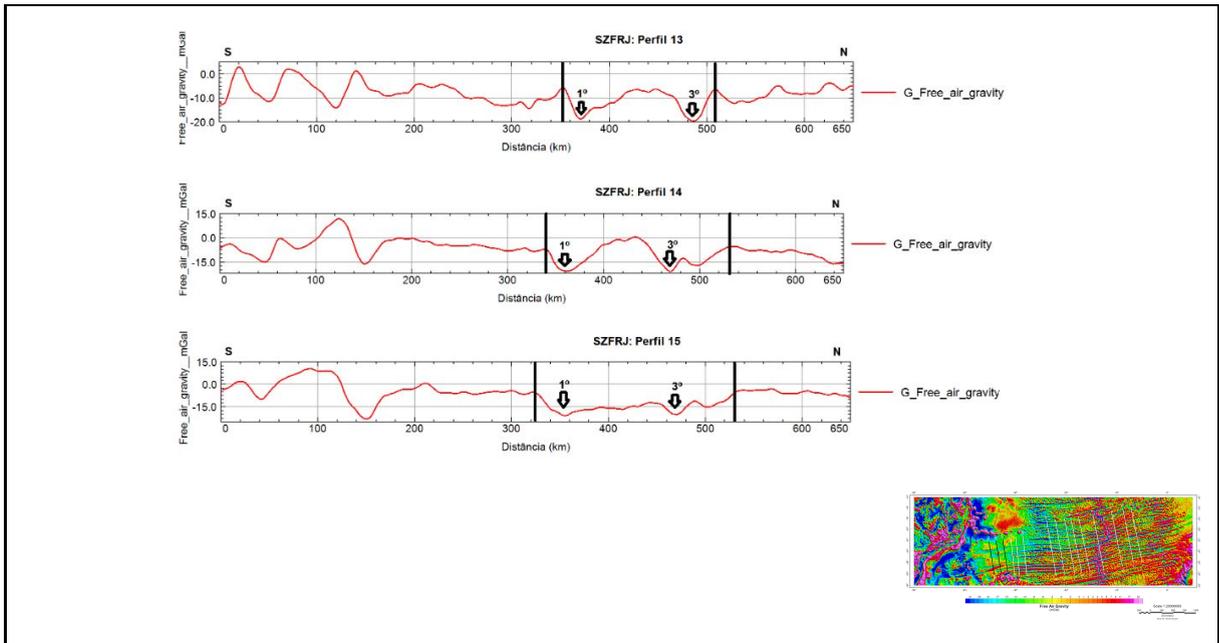


Figura 23: Perfis gravimétricos 13, 14 e 15.

A identificação gravimétrica dos prolongamentos fósseis correspondentes aos segmentos ZFRJ1 e ZFRJ3 em direção à margem continental a partir do perfil 15 (Figura 23) ficou prejudicada devido à espessa cobertura sedimentar na Margem Continental Brasileira corroborando Sandwell et al. (2014). Sob outra perspectiva, a análise das anomalias magnéticas com a Figura 24 revela a continuidade dos segmentos fósseis da ZFRJ1 e da ZFRJ3 sob o Platô de São Paulo na Bacia de Santos.

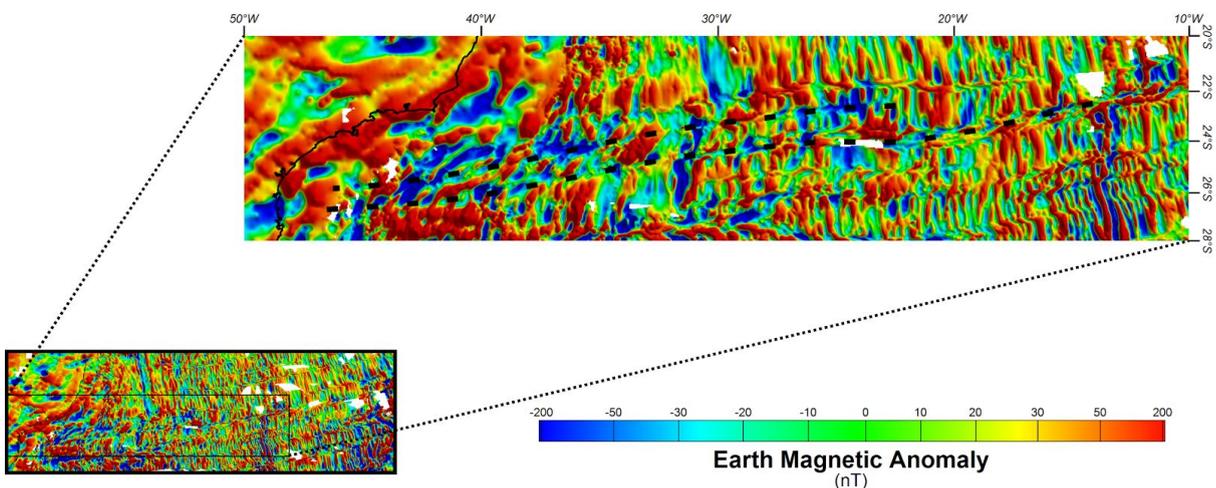


Figura 24: Mapa de anomalia magnética da Terra. Em destaque, o traçado dos lineamentos magnéticos da ZFRJ1 e ZFRJ3 onde é possível verificar suas respectivas continuidades sob o Platô de São Paulo. Em crosta mais recente, não possível verificar os alinhamentos magnéticos dos segmentos da ZFRJ2 e ZFRJ3 em decorrência dos esforços tectônicos que culminaram na modificação no pólo de rotação da placa.

6. CONCLUSÃO

Considerando que o objetivo principal desta monografia foi analisar o comportamento morfotectônico do SZFRJ para compreender o processo evolutivo do seu compartimento tectônico desde a Cordilheira Mesoatlântica até o Bordo Continental Brasileiro, as metodologias empregadas mostraram-se satisfatórias, ratificando a importância da utilização de ferramentas e técnicas integradas de investigação indireta para a caracterização da compartimentação e estruturação regional deste sistema.

A integração de distintos métodos geofísicos, como batimetria predita, anomalias gravimétricas de ar livre e do gradiente vertical gravitacional, isócronas e anomalias magnéticas e do gradiente vertical magnético possibilitaram, assim como em Alves (2002), a definição do Sistema de Zonas de Fratura do Rio de Janeiro que configura-se como uma proeminente descontinuidade litosférica do Atlântico Sul.

Uma melhoria na qualidade dos dados por meio da aplicação de técnicas de processamento permitiu ampliar a resolução dos mapas bem como melhor caracterizar as estruturas tectônicas do SZFRJ. A análise dos dados gravimétricos mostrou que o sistema atualmente é composto por três falhas transformantes na região da cordilheira, são elas: ZFRJ1, ZFRJ2 e ZFRJ3. A Falha Transformante da ZFRJ1 possui na realidade 100 km de deslocamento na cordilheira, a Falha Transformante da ZFRJ2 apresenta 125 km de comprimento enquanto que a Falha Transformante da ZFRJ3 possui 40 km de deslocamento.

A partir da cordilheira, o SZFRJ se prolonga pelo assoalho oceânico, entretanto, apenas os segmentos ZFRJ1 e ZFRJ3 deste sistema podem ser acompanhados até a região da Margem Continental Brasileira, ficando o segmento ZFRJ2 restrito a crosta mais recente. A origem da ZFRJ2 a 50 Ma pode ser associada à modificação do pólo de rotação da placa (Kearey et al., 2014) provocando uma reorganização do SZFRJ.

A continuidade da ZFRJ1 e da ZFRJ3 até as adjacências do Bordo Continental Brasileiro fica mais evidente com a análise dos mapas de anomalia magnética da Terra que mostram os seus respectivos prolongamentos fósseis sob o Platô de São Paulo na Bacia de Santos. Recomenda-se, portanto, a análise de linhas sísmicas em estudos futuros para uma melhor compreensão do papel desempenhado pelo SZFRJ na compartimentação tectônica da Bacia de Santos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. C. **Estruturas da margem continental sul brasileira e das áreas oceânicas continentais, adjacentes.** In: ASMUS, H. E. (ed.) Estruturas e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. Projeto REMAC, vol. 9: CPRM. 1981.

ALVES, E. C. **Zonas de Fraturas Oceânicas e suas Relações com a Compartimentação Tectônica do Sudeste do Brasil.** Tese de Doutorado: UFRJ. Rio de Janeiro, 2002. 233p.

ALVES, E. C., MAIA, M., SICHEL, S. E., CAMPOS, C. M. P. **Zona de fratura de Vitória-Trindade no Oceano Atlântico sudeste e suas implicações tectônicas.** Revista Brasileira de Geofísica. 2006

AYRES, A. & BAPTISTA NETO, J.A. **Métodos diretos e indiretos de investigação do fundo oceânico.** In: Introdução à Geologia Marinha. Org.: Baptista Neto, J.A., Ponzi, V.R.A. & Sichel, S.E. Rio de Janeiro, Interciência. 2004.

BAPTISTA NETO, J. A., PONZI, V. R. A., SICHEL, S. E. **Introdução à Geologia Marinha.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

CANDE, S.C.; LABRECQUE, J.L.; HAXBY, W.B. **Plate kinematics of the South Atlantic - chron 34 to present.** Journal of Geophysical Research, 93:13.479- 13.492. 1988.

COLLETE, B. J. **Thermal contraction joints in spreading seafloor as origin of fracture zones.** Nature 251, 299-300. 1979.

DIAS, G. T. M. & FIGUEIREDO JR., A. G. **Aspectos históricos da exploração científica dos oceanos.** In: Introdução à Geologia Marinha. Org.: Baptista Neto, J.A., Ponzi, V.R.A. & Sichel, S.E. Rio de Janeiro, Interciência. 2004.

ERNESTO, M. & USSAMI, N. **Introdução à Geofísica.** Departamento de Geofísica. IAG-USP. 2002.

FOX, P. J. et al. **The geology of the Oceanographer Fracture Zone: a model for fracture zones.** J. geophys. Res. 81, 4117-28. 1976.

GARRISON, T. **Fundamentos de oceanografia.** São Paulo: Cengage Learning, 2010.

GORINI, M. A. & BRYAN, G. M. **The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 48 (Supl.): 101-119. 1976

GORINI, M. A. **The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil.** New York, Columbia University, Tese de Doutorado, 365p. 1977

GORINI, M. A. **The tectonic fabric of the Equatorial Atlantic and adjoining continental margins: Gulf of Guinea to Northeastern Brazil.** In: ASMUS, H. E. (ed.) Estruturas e tectonismo da margem continental brasileira e suas implicações nos processos sedimentares e na avaliação do potencial de recursos minerais. Projeto REMAC, vol. 9: 11-116p.

HEEZEN, B. C., THARP, M., EWING, M. **The Floors of the Oceans, I: The North Atlantic.** Boulder, Colorado: The Geological Society of America, 1959.

HEIRTZLER, J. R.; Dickson, G. O.; Herron, E. M.; Pitman, W. C., III; Le Pichon, X. **Marine Magnetic Anomalies, Geomagnetic Field Reversals, and Motions of the Ocean Floor and Continental.** Geophys. Res., Vol. 73, No. 6, pp. 2119–2136, 1968.

IBGE. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil.** Diretoria de Geociências. Rio de Janeiro. 2011.

KARSTEN, J. L.; DELANEY, J. R.; RHODES, J. M.; LIAS, R.A. **Spatial and temporal evolution of magmatic systems beneath the Endeavour segment, Juan de Fuca Ridge: Tectonic and petrologic constraints.** Journal of Geophysical Research, 95:19.235-19.256. 1990.

KASTENS, K. **A compendium of causes and effects of processes at transform faults and fracture zones.** Rev. Geophys. 25 (7):1554-1562, 1987.

KEAREY, P., BROOKS, M., HILL, I. **Geofísica de exploração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

KEAREY, P; KLEPEIS, K. A.; VINE, F. J. **Tectônica Global.** -3. ed. - Porto Alegre: Bookman, 2014.

Le PICHON, X. **Seafloor Spreading and continental drift.** Journal of Geophysical Research, 73(12): 3611-3697. 1968

LUIZ, J. G. & SILVA, L. M. C. **Geofísica de Prospecção.** Belém: UFPA. 1995.

MACDONALD, K. C.; SCHEIRER, D. S.; CARBOTTE, S. M. **Mid-ocean ridges: discontinuities, segments and giant cracks,** Science, 253:986-994. 1991.

MENARD, H. W. **Topography of the northeastern Pacific seafloor** (abstract), Geol. Soc. Am. Bull., 65: 1149-1198. 1954.

MOLINA, E. C. **Gravimetria: Fundamentos e Aplicações.** IAG-USP. 2006.

MULLER, R.D., M. SDROLIAS, C. GAINA, and W.R. ROEST. **Age, spreading rates and spreading symmetry of the world's ocean crust,** Geochem. Geophys. Geosyst., 9, Q04006, doi:10.1029/2007GC001743. 2008.

SANDWELL, D. T., MULLER, R. D., SMITH, W. H. F., GARCIA, E., FRANCIS, E. **New global marine gravity model from CryoSat-2 and Jason-1 reveals buried tectonic structure.** Science. Vol 346 Issue 6205 Research | Reports Marine Geophysics. 2014.

SILVA, M. L. **Definição do comportamento morfoestrutural da Zona de Fratura de Porto Alegre.** Monografia. UFF. 2013.

SMITH, W. H. F., and D. T. SANDWELL, **Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings,** Science, v. 277, p. 1957-1962, 26 Sept., 1997.

TAYLOR, B., CROOK, K. & SINTON, J. **Extensional transform zones and oblique spreading centers.** J. Geophys. Res. 99, 19707-18. 1994

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** 2. ed. - Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 2004.

THOMPSON, G. & MELSON, W. G. **The petrology of oceanic crust across fracture zones in the Atlantic Ocean: evidence of a new kind of sea-floor spreading.** J. Geol. 80, 526-38. (1972)

TOMEZAK, Y. **Caracterização Geofísica do Sistema de Zonas de Fratura de Porto Alegre e o seu papel na Compartimentação da Bacia de Pelotas.** Monografia. UFF. 2015.

TUREKIAN, K. K. **Oceans.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 1968.

VINE, F.J. & MATTHEUS, D.H. **Magnetic anomalies over oceanic ridges.** Nature. 1963.

WHITE, R. S. et al. **Anomalous seismic crustal structure of oceanic fracture zones.** Geophysics 79, 779-98. 1984.

WILSON, J. T. **A new class of faults and their bearing on continental drift.** Nature, 207: 343-347. 1965.