



## Behavior of Porto Alegre Fracture Zone, from Mid Atlantic Ridge to Brazilian Coast

E. C. Alves<sup>1</sup>, M. L. Silva<sup>2</sup>, Y. Tomezak<sup>3</sup>, R. Araujo<sup>1</sup>, A. P. O. Luz<sup>4</sup>, D. S. Vidal<sup>4</sup>, E. C. Ramos<sup>4</sup>, E. L. Lopes<sup>4</sup>, R. M. G. Silva<sup>4</sup> and K. Motoki<sup>5</sup> - <sup>1</sup> Depto. de Geologia e Geofísica – LAGEMAR/UFF - <sup>2</sup> Doutorado – ON - <sup>3</sup> Vetor Brasil – Gov. SP – <sup>4</sup> Graduação em Geofísica – LAGEMAR/UFF – <sup>5</sup> Mestre em Geofísica – LAGEMAR/UFF

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent any position of the SBGf, its officers or members. Electronic reproduction or storage of any part of this paper for commercial purposes without the written consent of the Brazilian Geophysical Society is prohibited.

### Abstract

Mid-ocean ridges are not continuous features. Mid-ocean ridge spreading centers are affected by numerous transform faults generating the so-called fracture zones. These zones are prominent structures of the ocean floor perpendicular to the axis of the Mid-Ocean Ridge. The focus of this work is a geophysical characterization of the Porto Alegre Fracture Zone System located in the southern segment of the South Atlantic. This area was studied through the interpretation of magnetic anomalies data, gravimetry, bathymetry and seismic reflection, with the purpose of providing knowledge about its evolution process and extension to the continental margin. The analysis of the data showed that the system consists of four transform faults in the portion of the ocean ridge. However, in older crust, only one of the segments can be identified. This segment pass by important topographical features such as the Rio Grande Rise and the Vema Channel, reaching finally the continental margin. In this portion, the orientation of the fracture zone is coincident with the Torres Arc, dividing tectonically the Pelotas Basin.

### Introdução

O assoalho oceânico do Atlântico Sudeste apresenta diversas feições estruturais que se desenvolveram ao longo do seu processo de abertura. Dentre as feições mais conspícuas formadas, estão as zonas de fratura oceânicas (ZFO), que se estendem por todo o Oceano Atlântico, ocorrendo de ambos os lados da Cadeia Mesoatlântica (CMA). Seus prolongamentos para o continente podem ter papel importante na formação e evolução das bacias das margens continentais do tipo Atlântico (Alves, 2002 e Alves et al., 2006). Neste contexto foi feita uma análise do desenvolvimento morfotectônico do Sistema de Zona de Fratura de Porto Alegre (SZFPA) na Bacia Oceânica do Sul do Brasil se estendendo até o Bordo Continental Sul Brasileiro. Esta integração permitiu, além de um melhor entendimento da inter-relação entre as estruturas oceânicas e da margem continental brasileira adjacente, a verificação de que o prolongamento do SZFPA corta importantes feições topográficas como a Elevação do Rio Grande e o Canal

Vema, atingindo, finalmente, a margem continental, coincidente ao Arco de Torres, porção central da Bacia de Pelotas, que pode ter condicionado em parte a porção norte da bacia e a evolução do Cone de Rio Grande, na sua porção sul (figura 1).

Este trabalho estuda o comportamento geofísico de uma das grandes zonas de fratura do Atlântico Sul, o SZFPA localizado entre as latitudes 28° - 32°S na, estendendo-se desde a CMA até a Margem Continental Sul Brasileira, tendo assim, uma grande influência no arcabouço tectônico da Bacia de Pelotas, segundo Alves 1981, Silva 2013 e Tomezak (2015).

O mapa batimétrico (figura 1) mostra a extensão da SZFPA, assim como as principais feições vizinhas a ela como a Elevação do Rio Grande, a Dorsal de São Paulo, o Canal Vema e o Arco de Torres.

### Metodologia

A integração dos dados geofísicos nos permitiu observar o comportamento da SZFPA através do tempo geológico. Foram utilizados dados de batimetria predita (figura 2); anomalia gravimétrica Ar-Livre (*Free-Air*) (figuras 3); magnetometria (figura 4) e isócronas magnéticas (figura 5). Também foram gerados perfis gravimétricos (figura 6) no software GeoMapApp® que utiliza dados gravimétricos de "Sandwell and Smith" V18.1. Os dados de batimetria e gravimetria foram obtidos do banco de dados da *University of California San Diego*, os de magnetometria são oriundos do EMAG2 e os dados de isócronas magnéticas, da NGDC. Para a geração dos mapas foram utilizados os softwares Oasis Montaj e Arcgis.

### Análise Morfotectônica do Sistema de Zonas de Fratura da Zona de Fratura de Porto Alegre

O Sistema de Zonas de Fratura de Porto Alegre (SZFPA) localizada na Mesoatlântica (CMA) entre as latitudes de 29°S e 30°S, (figuras 2 e 3). Nesta região através de suas características morfológicas e gravimétricas mostram compartimentos tectônicos definidos pelas zonas de fratura com base nos padrões das anomalias e no nível do embasamento. A partir dessa análise na CMA o SZFPA é composto de quatro falhas transformantes e seus prolongamentos fósseis, observados tanto para leste quanto para oeste em direção a Margem Continental Africana e Sul Brasileira (figura 2). Essas descontinuidades deslocariam o eixo da cordilheira em 136 Km. Sabe-se também a partir de informações de tamanho de offset e de diferença de idade que as falhas desta zona de fratura podem ser classificadas como descontinuidades rígidas de primeira ordem, de acordo

com os critérios estabelecidos por Grindlay *et al.* (1991) e Carbotte *et al.* (1991).

Neste trabalho optou-se por fazer um estudo mais detalhado das anomalias gravimétricas ao traçar uma série de perfis ao longo da área para melhor avaliar o comportamento da região. O perfil 1 (figura 6) foi traçado ao longo da CMA, caracterizada como um centro de expansão lento e a parte ativa das zonas de fratura (figuras 2, 3, 4 e 5). Fica clara a divisão dos compartimentos tectônicos definidos pelas zonas de fratura com base nos padrões das anomalias e no nível do embasamento (Tomezak, 2015). Os segmentos identificados como 1, 2, 3, e 4 (figuras 2 e 3 e perfis 1 - figura 6) mostram que essas descontinuidades na CMA possuem respectivamente 51.1 km, 59.6 km, 75.7 km e 32.7 km de comprimento com diferença de idade de aproximadamente 5 Ma. (figura 5). Assim, pode-se chegar a conclusão de que as transformantes deste sistema de zonas de fratura podem ser classificadas como descontinuidades rígidas de primeira ordem (Grindlay *et al.*, 1991 e Carbotte *et al.*, 1991).

A partir do eixo da CMA (figuras 2, 3 e 5), o SZFPA está definido pelas quatro zonas de fratura 1, 2 e 3 e 4 (figuras 2 e 3, perfil 2 – figura 6), evidenciadas pelas depressões gravimétricas, que possuem características morfotectônicas distintas, constituem o compartimento assísmico que se prolonga tanto para leste quanto para oeste no sentido da Margem Continental Africana e Brasileira. A extensão desses segmentos é variável. Este sistema parece ter ficado estável até 10 Ma., quando desaparece a fratura correspondente ao segmento 4 que compõe o SZFPA. Observam-se também mudanças de orientação ao longo do prolongamento do SZFPA em direção a margem continental. Segundo Alves (2002), é bastante visível essas alterações de orientação ao longo dos milhares de anos devido as mudanças no polo de rotação da placa Sul-Americana. Em crosta mais antiga 40 Ma., a falha referente ao segmento 3 também não mais existe, pois seu prolongamento não é mais visível a partir do perfil 06 (Figura 18), próximo a longitude 20°W. Adicionalmente, a partir de 60 Ma, o segmento 1 (figuras 2, 3 e 5, perfil 04 - figura 6) também deixa de ser detectado, quando apenas um único segmento é visível. Estas características morfoestruturais indicam que, durante a sua evolução a do SZFPA sofreu modificações tectônicas importante, atualmente se constitui num sistema quádruplo de zonas de fratura entre 0 – 10 Ma., triplo entre 10 – 40 Ma., duplo entre 40 – 60 Ma. A partir de 60 Ma. (figuras 2, 3, 4 e 5), este domínio transformante fossilizado, o SZFPA se configurou em uma única zona fratura, que aqui será denominado como Zona de Fratura de Porto Alegre (ZFPA).

Alves (2002) e Alves *et al.* (2006), afirmam que essas variações no comportamento das zonas de fratura podem estar relacionadas as grandes variações no suprimento magmático, mudanças nas velocidades de expansão da placa, ou mesmo uma reorganização na dinâmica tectônica global, envolvendo a forma e o comprimento dos segmentos de zonas de fratura relacionados.

Na região da Elevação de Rio Grande (ERG; figuras 1, 2 e 3), a feição da ZFPA não fica tão bem definida como nos perfis gravimétricos anteriores (perfil 5 – figura 6). Assim, análise do prolongamento da zona de fratura passa a ser feita com base no mapa de anomalia

magnética, integrado aos dados gravimétricos, que permite a visualização das zonas de fratura desde a CMA até a região próxima da margem continental. A determinação do prolongamento fóssil da ZFPA2 a partir de 80 Ma. (figuras 4 e 5) iniciou-se a época de calma magnética do Cretáceo, período em que o campo magnético da Terra ficou com uma polaridade normal estável durante aproximadamente 40 milhões de anos (Schouten, 1974). De acordo com Collette (1980), esta zona também é caracterizada por não possuir grandes reversões magnéticas e por possuir polaridade magnética normal nos dois lados das zonas de fratura. Entretanto nessa região no mapa magnético, é possível verificar o típico padrão de anomalias magnéticas lineares atribuíveis as faixas de crosta oceânica alternadamente magnetizadas numa direção normal e reversa. Entretanto, nas regiões das zonas de fraturas, tal padrão em alguns locais é rompido. Verifica-se que ao longo das mesmas e dos seus respectivos prolongamentos, os blocos magnetizados encontram-se deslocados, indicando a movimentação e justaposição de áreas com magnetização contrária. Nota-se que devido a presença da ERG ou mesmo do Arco de Torres, esse padrão torna-se mais caótico, mas, mesmo assim, ainda é visível o deslocamento das anomalias causado pelos segmentos fósseis.

Como observado no perfil 5 (figura 6) a continuidade do segmento fóssil da ZFPA a sua definição fica um pouco comprometida, mas com base na observação do mapa de anomalia magnética (figura 4) foi possível determinar o provável compartimento tectônico em que se encontra o segmento. É notório observando o perfil 6 (figura 6) é possível determinar o provável compartimento tectônico em que se encontra o segmento (figura 3).

Para uma melhor definição e caracterização do comportamento crustal representado pela ZFPA na região da margem continental, utilizou-se inicialmente, os dados de gravimetria trabalhados por Dantas (2010). É possível identificar, em cunho regional, os contrastes de densidade das rochas no mapa de anomalia Ar-Livre (figura 7). Verificam-se áreas com maior aporte sedimentar representadas pelos baixos gravimétricos e regiões em que o embasamento encontra-se soerguido representado pelos altos gravimétricos. O segmento da ZFPA2 pode ser também observado pelo desnível existente entre as anomalias gravimétricas e os registros de sísmica reflexão (figura 8) mostrados por Tomezak (2015), evidenciando o rebaixamento crustal, gerando a atuação do fraturamento e irregularidades no embasamento definindo uma compartimentação tectônica em degrau, exercendo um controle estrutural depositada posteriormente na Bacia de Pelotas. Esta área do segmento da ZFPA encontra-se coincidente ao prolongamento do Arco de Ponta Grossa na Bacia de Pelotas, que marca o limite da porção norte e sul - Cone de Rio Grande na Bacia de Pelotas (figura 9).

## Conclusões

Em síntese, a integração de resultados provindos de distintos métodos, como batimetria, anomalias gravimétricas e magnéticas, associados aos dados de sísmica de reflexão concluiu-se que o Sistema de Zona de Fratura de Porto Alegre (SZFPA) é composto por

quatro falhas ativas transformantes na região da CMA, associada a segmentos fósseis que se prolongam para a margem continental. O SZFPA é representada na CMA por um sistema quadruplo formado de descontinuidades rígidas de 1ª ordem, de idades em torno de 5 Ma. A continuidade do SZFPA é definida por depressões gravimétricas, passando por um sistema de zonas fratura bastante variável quadruplo até 10 Ma., triplo entre 10 e 40Ma., duplo até 60 Ma. A partir de então, defini uma significativa faixa tectonzada, caracterizada por um único e "trend" tectônico, ZFPA, confirmando sua extensão desde a cordilheira (CMA) até a margem continental, que se prolonga pelo Arco de Torres. Nessa região a ZFPA segmenta a Bacia de Pelotas, evidenciada por dados sísmicos, como um compartimento tectônico em degrau definindo a porção norte e a porção sul da bacia, que como uma barreira possibilitou a formação da grande carga sedimentar do Cone de Rio Grande .

### Agradecimentos

Ao Departamento de Geologia e Geofísica/ LAGEMAR / UFF pelo apoio material, físico e financeiro. A todos os amigos do LAGEMAR que incentivaram e ajudaram este trabalho.

### Referências

- ALVES, E.C. 1981. Estruturas da Margem Continental Sul Brasileira e das Áreas Oceânicas Continentais Adjacentes. Recursos Minerais (Relatório Final). Rio de Janeiro: PETROBRAS/CENPES/DINTEP. Série Projeto REMAC, 9. 1981.
- ALVES, E. C. 2002. Zonas de Fraturas Oceânicas e suas Relações com a Compartimentação Tectônica do Sudeste do Brasil (Rio de Janeiro). Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro / Laboratoire Domaines Océaniques Institut Universitaire Européen de la Mer, 247p..
- ALVES, E.C.; MAIA, M.; SICHEL, S.E.; CAMPOS, C.M.P. 2006. Zona de Fratura Vitória Trindade no Atlântico Sudeste e suas Implicações Tectônicas. Revista Brasileira de Geofísica, 20(1): 117-127p.
- CARBOTTE, S.; WELCH, R.N.; MACDONALD, K.C. 1991. Spreading rates, rift propagation, and fracture zone offset histories during the past of the 5 my on the Mid-Atlantic Ridge; 25°–27°30'S and 31°–34°30'S. Marine Geophysical research, 13:51-80.
- Collete, B. J. 1980. Magnetic Anomalies Over Fracture Zones in the Central North Atlantic Ocean. Geologia Ultraiectina. n. 26.
- Dantas, R.N.G. 2010. Caracterização Geofísica e Tectônica do Alto Estrutural de Florianópolis. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geofísica, Universidade Federal Fluminense.
- GRINDLAY, N.R.; FOX, P.J.; MACDONALD, K.C. 1991. Second discontinuities in the South Atlantic: Morphology, structure and evolution. Marine Geology Researches, 13:21-49.

Schouten, H. 1974 .Magnetic Anomalies over Fracture Zones in the Lower Magnetic Latitudes of the Central North Atlantic .Eos Trans. AGU.

Silva, M.L. 2013. *Definição do Comportamento Morfoestrutural da Zona de Fratura de Porto Alegre*. Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense.

Tomezak, Y. 2015. Caracterização, Geofísica do Sistema de Zona de Fratura de Porto Alegre e o seu Papel na Compartimentação Tectônica da Bacia de Pelotas. Trabalho de Conclusão de Graduação em Geofísica da Universidade Federal Fluminense.

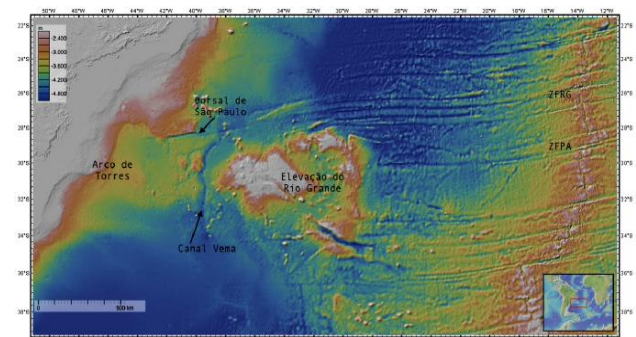


Figura 1. Mapa Batimétrico com as Principais Feições Morfo-Estruturais da Região (Grid Obtido do *Global Multi-Resolution Topography*).

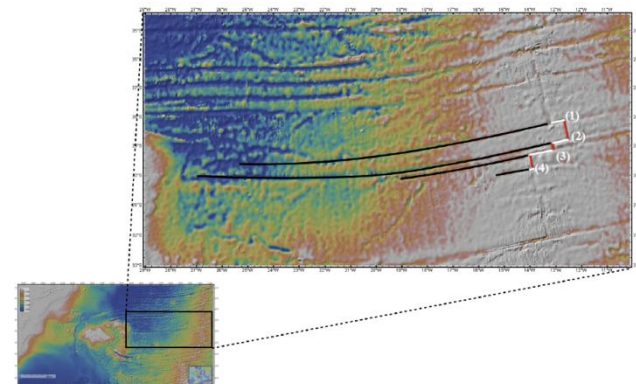


Figura 2. Mapa Batimétrico. O retângulo em destaque representa a área aumentada. Em preto, os prolongamentos das Zonas de Fratura. Em vermelho, o eixo da Cordilheira Mesoatlântica deslocado. Em branco, as Falhas Transformantes (1), (2), (3) E (4) que constituem o Sistema de Zonas de Fratura de Porto Alegre.

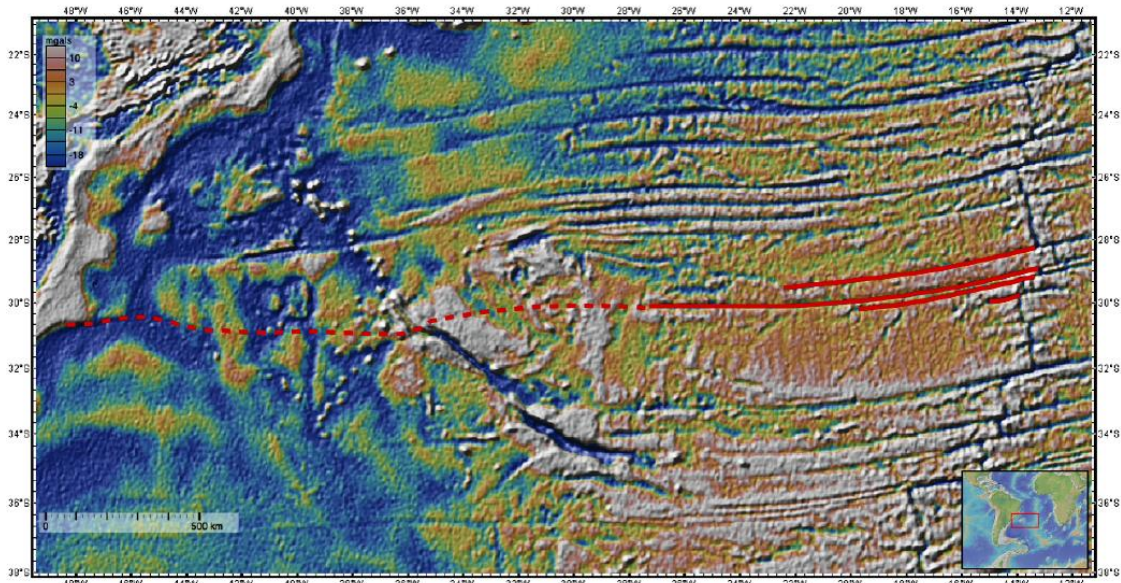


Figura 3. Mapa Gravimétrico com grid extraído de Sandwell & Smith (1997). Em vermelho, a definição do SZFPA.

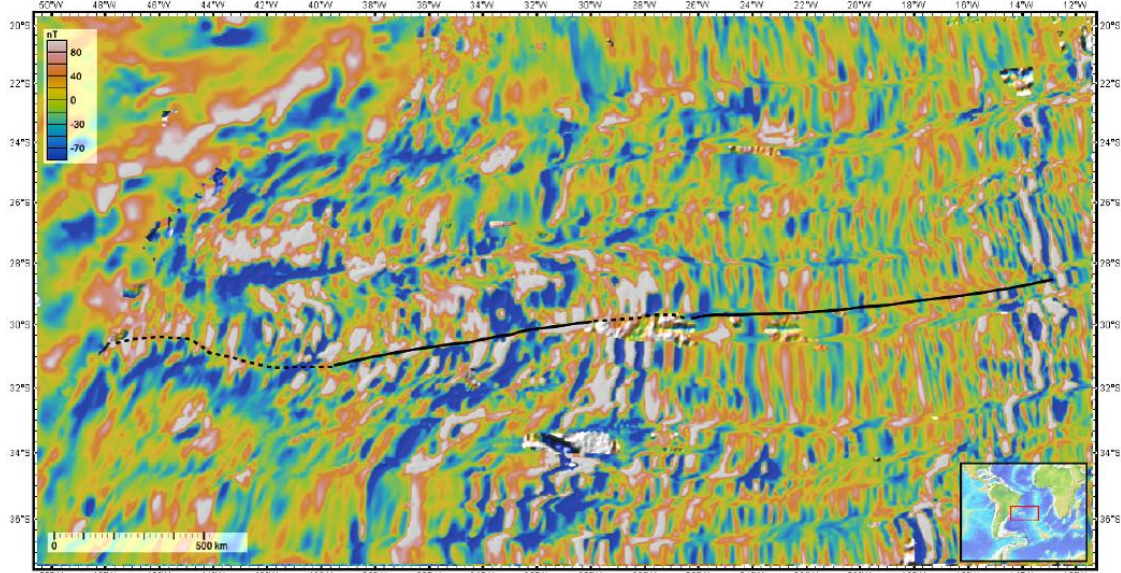


Figura 4. Mapa de Anomalia Magnética em nT. Linha Preta corresponde ao prolongamento do Segundo Segmento do SZFPA. A linha tracejada sugere sua continuidade.

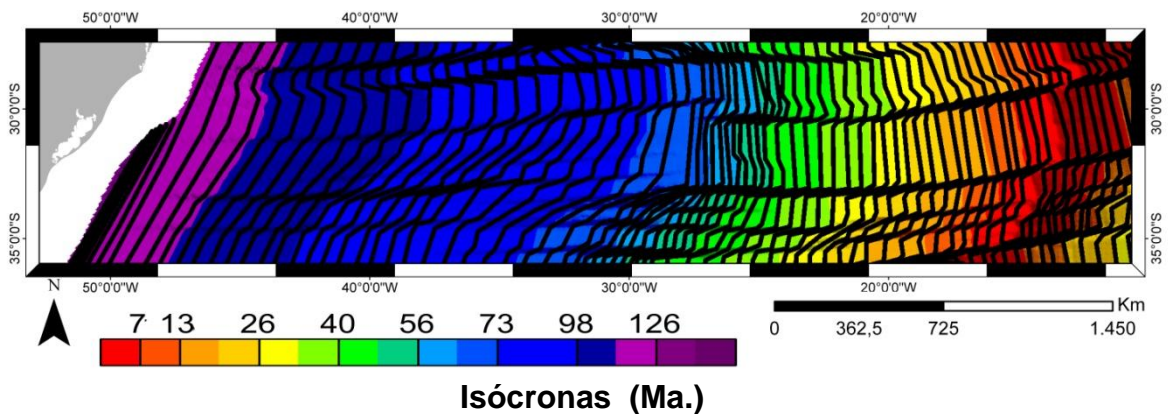


Figura 5. Mapa de Isócronas Magnéticas. As Isócronas estão em intervalos de 2 Ma.

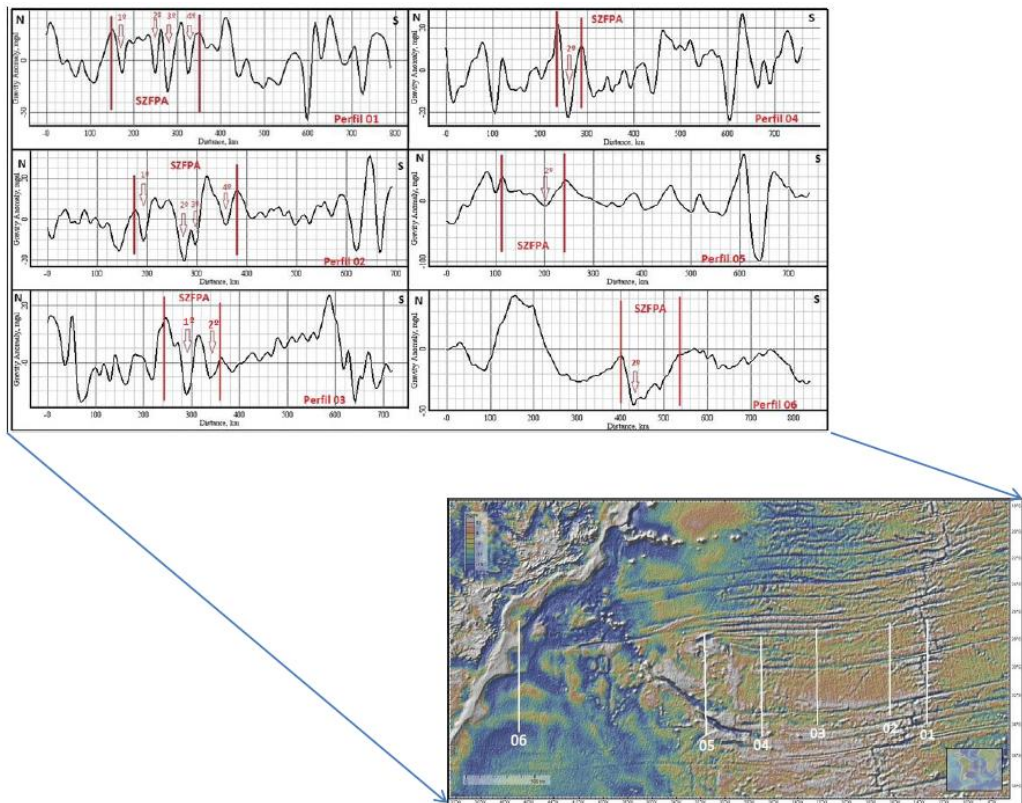


Figura 6 – Perfis gravimétricos. O domínio morfotectônico do Sistema de Zona de Fratura de Porto Alegre (SZFPA) está representado em vermelho, as setas indicam seus segmentos.

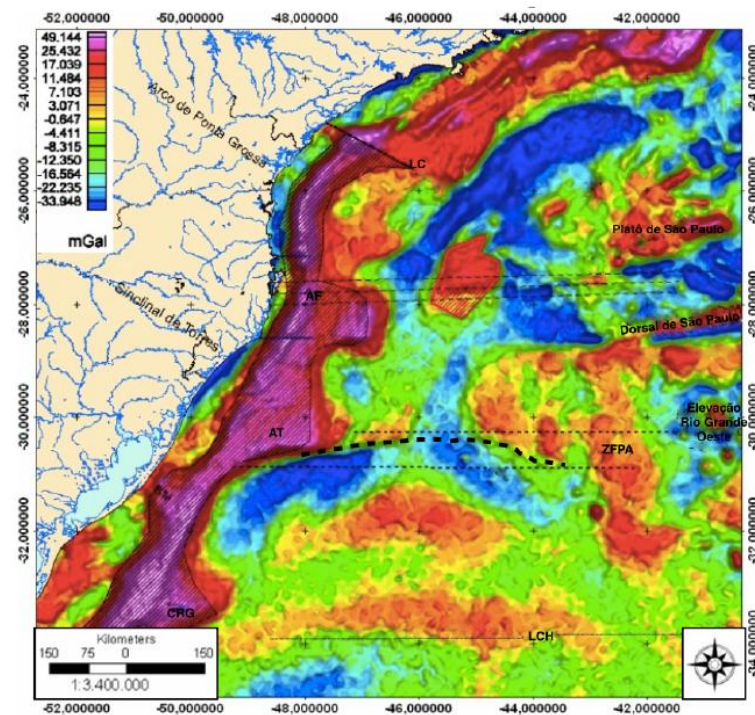


Figura 7. Mapa de Anomalia Ar-Livre. As siglas observadas no mapa são: Crg – Cone do Rio Grande; Lch – Lineamento do Chuí; Lc – Lineamento de Curitiba; At – Alto de Torres; Af – Alto de Florianópolis; Zfpa – Zona de fratura de Porto Alegre (Modificado de Dantas, 2010).

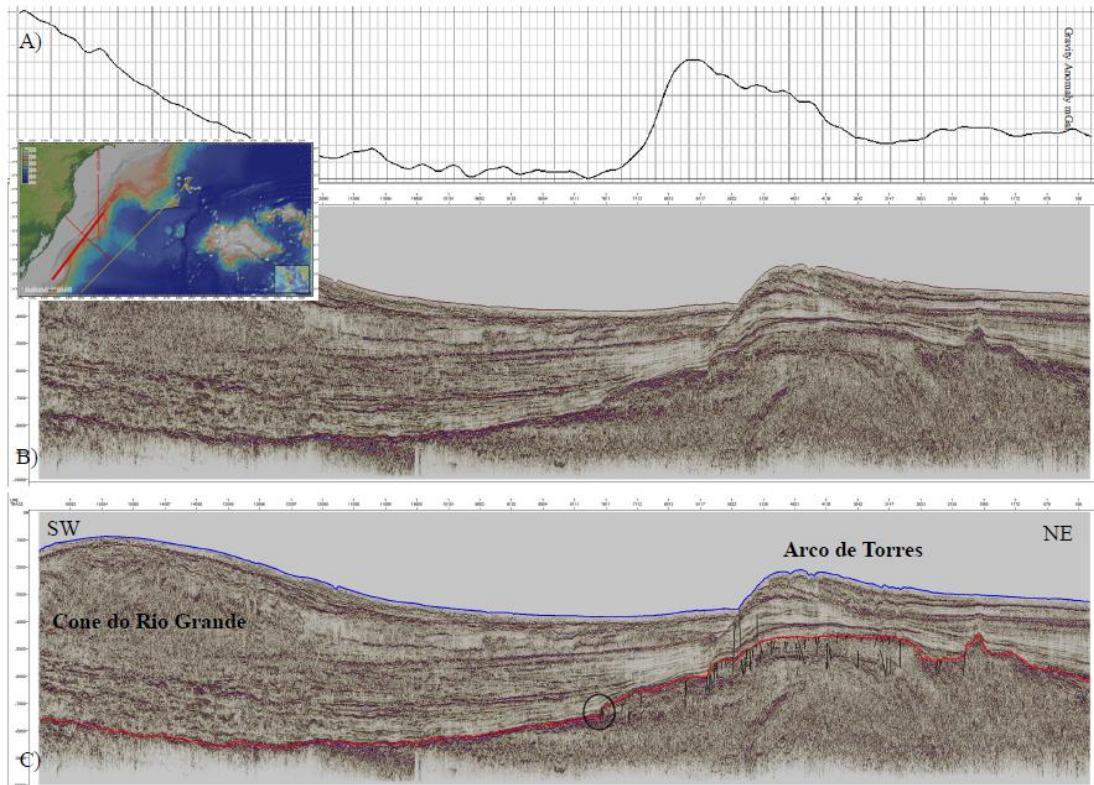


Figura 8. A) Perfil Gravimétrico da Seção. B) Seção Sísmica 0231-0486 não interpretada. C) Seção Sísmica 0231-0486 com o delineamento do Assolho Oceânico (em azul) e do Topo do Embasamento (em vermelho). No Mapa, a localização da Seção Sísmica.

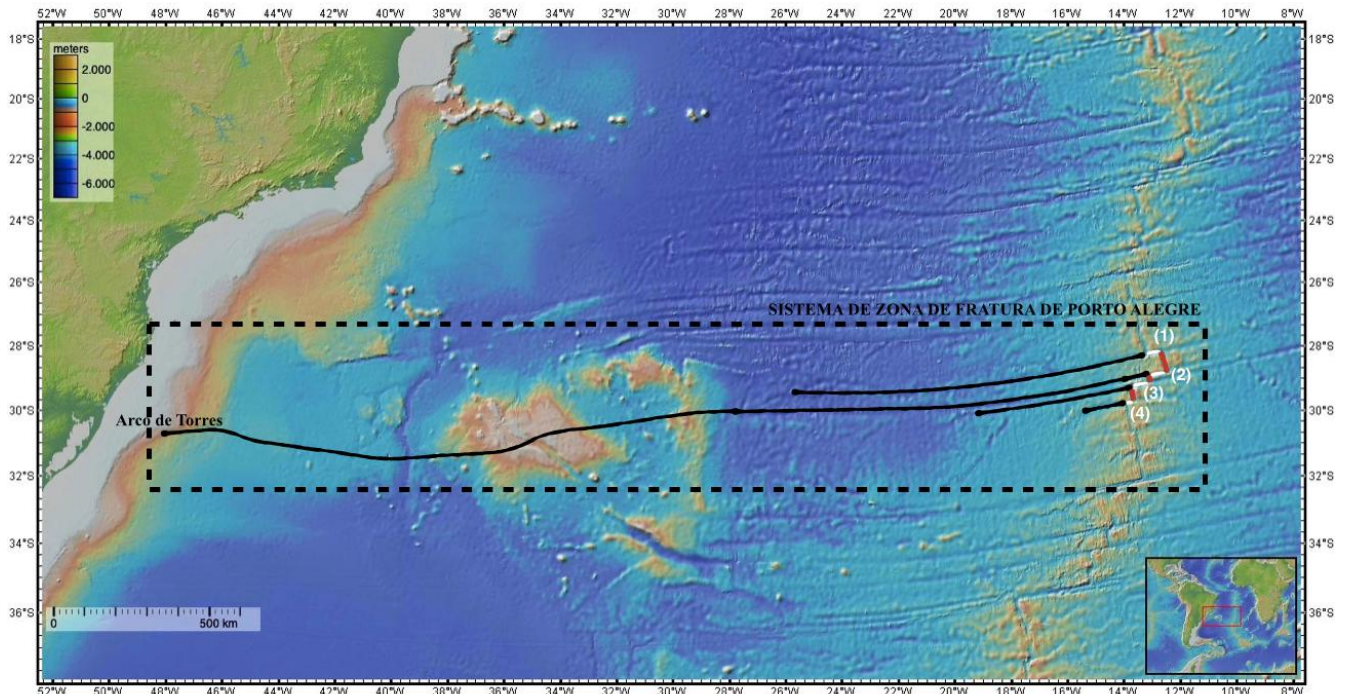


Figura 9. Mapa Batimétrico Final com a localização e definição do Sistema de Zona de Fratura de Porto Alegre. Em preto, os prolongamentos das Zonas de Fratura. Em vermelho, eixo da Cordilheira Mesoatlântica deslocado. Em branco, as Falhas Transformantes. Verifica-se que o prolongamento do Segmento 2 – Zona de Fratura de Porto Alegre se estende na Margem Continental, coincidente com o Arco de Torres na Bacia de Pelotas.