Processamento de Dados Gravimétricos para Mapeamento e Interpretação de Estruturas Geológicas Regionais

Klauss Sampaio Silva[1], Leonardo Guimaraes Miquelutti[1], André Pires Negrão[2], Guilherme Henrique Lenz[1], Marco Antônio Cetale Santos[1]
[1]Universidade Federal Fluminense - Dinâmica dos Oceanos e da Terra - Grupo de Imageamento Sísmico e Inversão Sísmica
[2]Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências – Departamento de Geologia Sedimentar e Ambiental

Copyright 2024, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no IX Simpósio Brasileiro de Geofísica, Salvador, 08 a 10 de outubro de 2024. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do X SimBGf, mas não necessariamente representa a opinião da SBGf ou de seus associados. É proibida a reprodução total ou parcial deste material para propósitos comerciais sem prévia autorização da SBGf.

Resumo

Este estudo visa mapear e interpretar estruturas geológicas na região sudeste do Brasil a partir da interpretação de dados gravimétricos. Foram traçados lineamentos a partir do processamento de dados gravimétricos da base Sandwell et al. (2014), gerando mapas de anomalias de Ar Livre e Bouguer. Posteriormente, filtros como continuação para cima, passa-banda, primeira derivada vertical e amplitude do sinal analítico foram utilizados, além de técnicas de sombreamento multidirecional e composição colorida para melhorar a visualização. Foram produzidos mapas de lineamentos estruturais que serão classificados e comparados estatisticamente entre si, para verificar sua consistência, e em seguida, com dados geológicos, magnetométricos e modelos de elevação, com o objetivo de identificar padrões estruturais que condicionam as estruturas neotectônicas da margem continental do sudeste do Brasil.

Introdução

A gravimetria é uma técnica geofísica utilizada para medir a aceleração gravitacional em diferentes locais da Terra. Essa medição é realizada com o objetivo de entender a distribuição de massa abaixo da superfície terrestre e identificar variações na gravidade, possibilitando a criação de modelos gravitacionais que permitem investigar a subsuperfície terrestre, detectando variações na massa e densidade das rochas, e indicando a presença de diferentes estruturas terrestres. Estes modelos são particularmente úteis para mapear estruturas geológicas, como bacias sedimentares, falhas, intrusões magmáticas e dobramentos**,** especialmente aquelas que não são visíveis na superfície devido à cobertura por vegetação, solo ou sedimentos. A importância dos dados gravimétricos é especialmente notável em regiões onde a topografia não revela detalhes significativos. A análise e interpretação desses dados possibilitam a identificação das principais estruturas tectônicas, desde as camadas superficiais até as porções mais profundas do embasamento rochoso.

Este trabalho utiliza dados gravimétricos da base de dados global gerada por Sandwell et al. (2014) e os processa para interpretação geofísica e geológica. O processamento dos dados inclui a geração de mapas anomalias gravimétricas do tipo Ar Livre e Bouguer em arquivos de Sistema de Informações Geográficas (SIG), a aplicação de filtros de Continuação Para Cima e Passa Banda, assim como a criação de subprodutos como Amplitude do Sinal Analítico e Primeira Derivada Vertical dos dados gravimétricos. Além disso, a aplicação de técnicas como sombreamento multidirecional e composição colorida para identificar continuidades nos dados gravimétricos. A combinação dessas técnicas possibilita a geração de produtos visuais detalhados, facilitando a análise, identificação e interpretação de estruturas tectônicas.

O objetivo deste trabalho é traçar lineamentos gravimétricos em uma área que, conforme apresenta a *figura 1,* abrange porções das regiões sul, sudeste e centro-oeste do Brasil, incluindo os Estados de Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul, assim como a classificação, análise e integração dos resultados com dados geológicos, buscando a identificação de padrões estruturais que condicionam estruturas neotectônicas da margem continental do sudeste do Brasil.

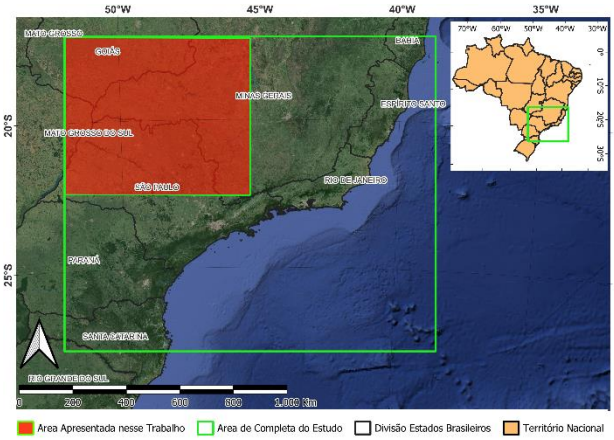

Figura 1 – Localização da área de estudo.

Metodologia

Inicialmente, realizou-se o processamento para geração dos produtos primários, incluindo Anomalia de ar livre e a anomalia Bouguer.

A anomalia de ar livre é calculada comparando a aceleração da gravidade medida em um local com o valor padrão de gravidade no nível do mar, sem considerar o terreno entre a estação e o nível do mar, proporcionando uma visão geral das variações laterais de massa.

Já a anomalia Bouguer é calculada a partir das medições gravimétricas corrigidas por influências como a altitude da estação de medição e o terreno entre a estação e o nível do mar. Esta correção envolve a correção Bouguer

simples, que subtrai o efeito gravitacional da massa rochosa entre a estação de medição e um plano horizontal de referência, geralmente o nível do mar. Além disso, também é aplicada a correção de terreno, que ajusta as medições considerando a topografia. O objetivo das anomalias Bouguer é fornecer um mapa que reflete melhor as variações na distribuição de massa, onde anomalias positivas indicam uma maior densidade relativa, como intrusões ígneas, enquanto as anomalias negativas podem indicar áreas de menor densidade, como bacias sedimentares.

A partir da conversão e processamento dos dados em arquivos SIG e a criação de dados tratados da Anomalia de Ar livre e de Anomalia Bouguer, foi possível confeccionar subprodutos de processamento gravimétrico como filtros de Continuação Para Cima e Passa Banda, bem como os processamentos de Amplitude do Sinal Analítico e Primeira Derivada Vertical, para análises mais detalhadas das variações gravimétricas.

O filtro de continuação para cima projeta dados gravimétricos para uma superfície elevada, suavizando anomalias e reduzindo efeitos de alta frequência de estruturas superficiais e ruídos, sendo útil para distinguir anomalias profundas das rasas e facilitar a interpretação de grandes estruturas geológicas. O filtro passa banda permite a passagem de uma faixa específica de frequências e atenua as demais, isolando anomalias e reduzindo ruídos indesejados para análise em diferentes profundidades.

Em conformidade com Blakely (1996), a amplitude do sinal analítico combina a derivada total de um campo potencial com componentes horizontais e verticais, formando uma magnitude positiva para identificar anomalias, com resultados ligados profundidade do corpo. Já a primeira derivada vertical calcula a diferenciação do campo gravimétrico em relação à coordenada vertical, aumentando a resolução e realçando características de alta frequência, destacando limites de anomalias mais rasas.

Após a produção dos produtos de anomalia gravimétrica, foram gerados arquivos de imagem georreferenciados de valores absolutos *(mGal)*. Técnicas de sombreamento multidirecional e variações de contraste e brilho foram utilizadas para realçar o gradiente gravimétrico nos dados, bem como composições coloridas para identificar padrões e continuidades nos conjuntos de dados. Os produtos processados, foram integrados para visualização detalhada e análise das variações gravimétricas em cada conjunto de dados processados

Resultados

A aplicação de técnicas de processamento, como sombreamento multidirecional e composição colorida, para realçar feições gravimétricas melhoraram a visualização possibilitando a identificação de continuidades e a geração de produtos visuais detalhados, apresentados na *figura 2*.

A partir do processamento das imagens geradas e interpretação de gradiente gravimétrico, foram traçados lineamentos, e em seguida analisados e comparados entre diferentes conjuntos de dados para identificar padrões significativos.

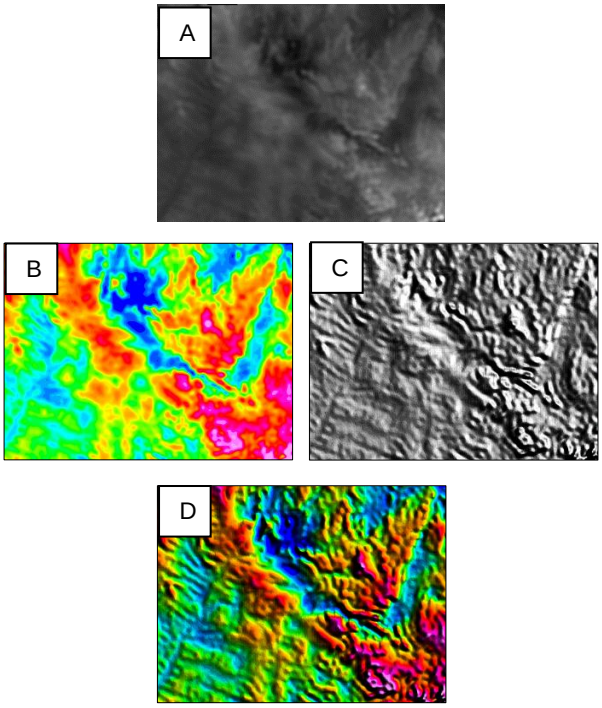

Figura 2 – Exemplo de confecção de realce em imagem de Anomalia de Ar Livre: (A) Imagem em tons de cinza. (B) Composição Colorida. (C) Sombreamento. (D) Composição Colorida + Sombreamento.

Os dados gravimétricos processados permitiram a geração de mapas detalhados da anomalia de Ar Livre e anomalia Bouguer, exemplificado na *figura 3*, e seus subprodutos. Além disso, foram confeccionados de mapas de lineamentos gravimétricos, destacando possíveis feições estruturais identificáveis.

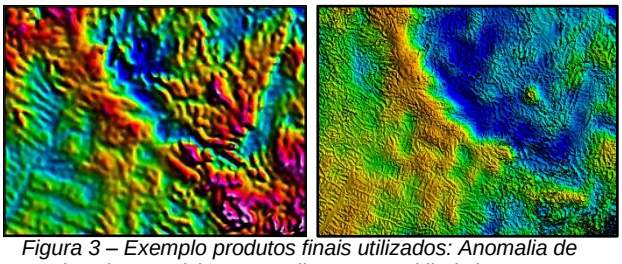

Figura 3 – Exemplo produtos finais utilizados: Anomalia de Ar Livre (esquerda) e Anomalia Bouguer (direita)

Análise e Comparações Finais

Futuras fases do trabalho incluirão a análise estatística dos lineamentos traçados visando quantificar e caracterizar as variações e distribuições dos lineamentos traçados, conforme exemplo apresentado na *figura 4*. Esses lineamentos serão comparados aos dados geológicos disponíveis para uma interpretação contextual, visando a compreensão das estruturas geológicas e sua

relação com as variações gravimétricas para a determinação de estruturas tectônicas significativas.

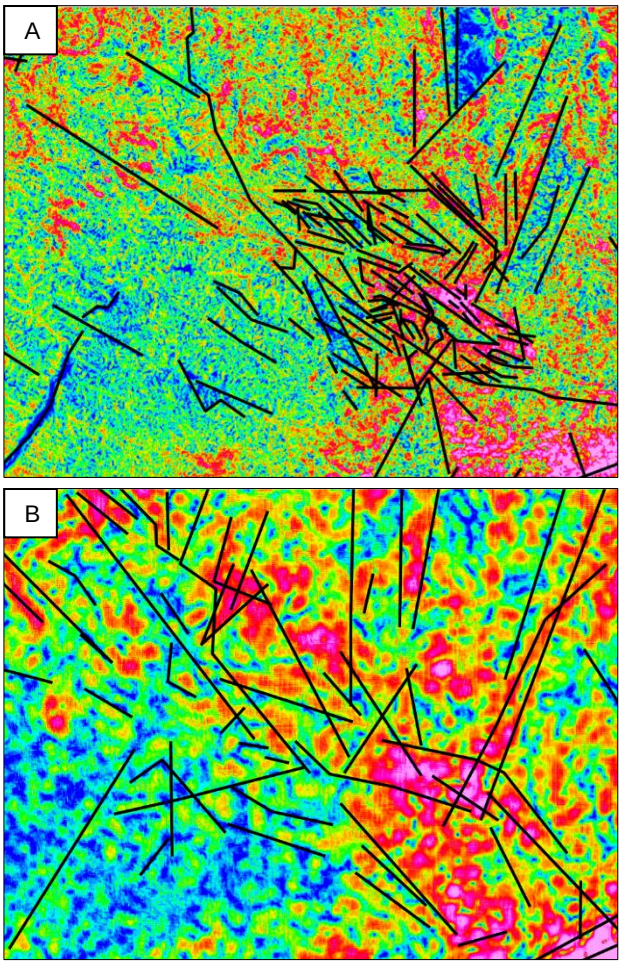

Figura 4 – Exemplo de Grupos de Lineamentos selecionados para comparação. A – Amplitude do Sinal Analítico em Anomalia Bouguer. B - Amplitude do Sinal Analítico em Anomalia de Ar Livre

A análise estatística dos lineamentos será realizada utilizando várias abordagens. Inicialmente, análises de densidade, frequência e comprimento de Lineamentos será implementada para identificar áreas de concentração de lineamentos, além da quantidade e extensão dos lineamentos em diferentes regiões, ajudando a identificar padrões direcionais predominantes.

Para avaliar a distribuição dos lineamentos em profundidade, serão utilizados algoritmos de Agrupamento e de Correlação Espacial. Esta abordagem incluirá a verificação dos padrões de agrupamento ou dispersão dos lineamentos para medir sua consistência espacial.

Também serão realizadas análises e comparações com outras fontes de dados gravimétricos, como o Banco Nacional de Dados de Gravimetria (BNDG), bem como dados magnetométricos obtidos por satélite e aerogeofísica.

Além disso, os resultados serão comparados com modelos de elevação e mapas geológicos existentes para identificar estruturas, classificar feições geológicas, bem como validar as interpretações, contribuindo para a comunidade científica na geração de conhecimento geológico e geofísico.

Agradecimentos

O primeiro autor gostaria de agradecer pela bolsa de graduação oferecida pela Fundação Euclides da Cunha (FEC) através do convênio entre UFF, FEC e Petrobras. Os autores agradecem o apoio da Petrobras por meio do projeto de P&D "Tectônica Cenozoica da Margem Continental do Sudeste do Brasil: padrões de deformação e controle na sedimentação" (ANP no. 22969-0). Também é apreciada a importância estratégica da regulamentação da taxa de P&D da Agência Nacional do Petróleo, como também o apoio da Seequent. Gostaríamos de agradecer a Rodrigo S. Stern pelo crucial suporte de TI.

Referências

Blakely, R. ,1996. Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications, 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press.

Hinze, W. J.; Von Frese, R. R. B.; Saad, A. H., 2013. Gravity and Magnetic Exploration: principles, practices, and applications. New York: Cambridge University Press, DOI: 10.1017/CBO9780511843129.

Sandwell, D. T., Müller, R. D., Smith, W. H. F., Garcia, E. and Francis, R., 2014. New global marine gravity model from Cryo-Sat-2 and jason-1 reveals buried tectonic structure. Science, Vol. 346, 6205, pp. 65-67, doi: 10.1126/science.1258213.

Kearey, P.; Brooks, M.; Hill, I.; 2009. An introduction to geophysical exploration / Geofísica de exploração. tradução Maria Cristina Moreira Coelho. São Paulo: Oficina de Textos