Estudo de efeitos de contatos geológicos na modelagem gravimétrica 2D

Annie Gabrielle de Oliveira Silva, Wilson Mouzer Figueiró, Alanna Costa Dutra, Universidade Federal da Bahia

Copyright 2024, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no X 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

O trabalho propõe uma abordagem inovadora na modelagem gravimétrica 2D, empregando 200 prismas infinitesimais em uma das direções horizontais para investigar os efeitos das variações nos contatos geológicos na curva gravimétrica, ao modelar uma zona de transição entre quartzito e uma formação ferrífera. Foram analisadas três situações distintas: variações angulares no mergulho, deslocamentos horizontais do contato ao longo da estrutura geológica e a deslocamentos verticais (aumento no comprimento dos contatos) em profundidade.

Introdução

A prospecção gravimétrica é uma técnica que analisa as variações no campo gravitacional, com ampla aplicação na exploração mineral. Com esse método, busca-se localizar massas locais de maior ou menor densidade do que as formações circundantes e extrair informações a partir das irregularidades no campo terrestre (Telford et al., 2004).

Entre as diversas aplicações desse método na mineração, destacam-se o mapeamento da geologia de subsuperfície e a estimativa de reservas minerais para corpos de minério de sulfeto (Nabighian et al., 2005), a determinação da geometria de corpos geológicos (Matende & Micks, 2021) e o reconhecimento de áreas com densidade anômala. A gravimetria também é uma eficaz ferramenta na detecção de contatos geológicos (Olatunji & Osazuwa, 2022), como investigada neste trabalho, devido a sua capacidade intrínseca de detectar variações laterais de densidade.

Neste estudo, utilizamos dados sintéticos gerados pela modelagem de um cenário geológico, inspirado em formações ferríferas em contato com quartzito, similares às encontradas em Michigan, nos Estados Unidos, baseando-nos na bibliografia de Leney (1996). A modelagem foi fundamental na interpretação e na geração dos dados gravimétricos sintéticos.

A modelagem gravimétrica não apenas faz sugestões significativas sobre as geometrias subsuperficiais, mas também desempenha papel essencial na compreensão das diversas respostas gravimétricas associadas a diferentes distribuições de densidades de rochas. Isso é crucial na identificação de possíveis alvos para exploração mineral, especialmente considerando a ambiguidade inerente ao método gravimétrico: a gravimetria pode apresentar curvas semelhantes para diferentes cenários geológicos.

Inicialmente, desenvolvemos um modelo conceitual, integrando os conhecimentos geológicos e geofísicos disponíveis para três tipos de situações possíveis de contato: com deslocamentos horizontais do contato geológico, com diversas variações angulares, e variações verticais (aumento no comprimento do contato em profundidade). Em seguida, utilizamos esse modelo para calcular a anomalia gravimétrica observada e, interpretá-la, à luz da modelagem realizada.

Metodologia/ Problema Investigado

O método gravimétrico destaca-se por sua capacidade de identificar formações ferríferas (FF.) devido ao alto contraste de densidade entre elas e as formações circundantes. Conforme observado por Leney (1996), o alto teor mineral metálico do minério e o comportamento ferromagnético de seus corpos podem proporcionar um excepcional contraste de densidade entre o minério e o material circundante.

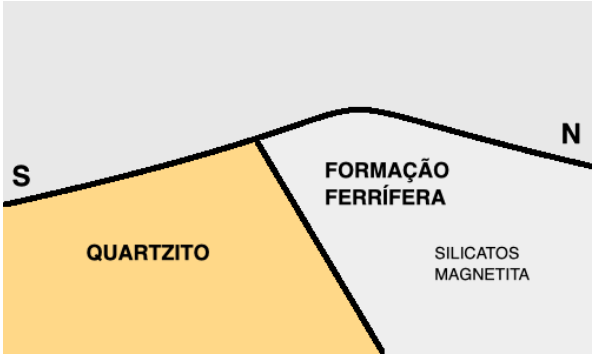

Figura 1 - Modelo geológico de formação ferrífera em contato com quartzito. Adaptado de Leney (1996).

Nesta pesquisa, empregamos a modelagem gravimétrica como metodologia para o cálculo da anomalia gravimétrica vertical $g_z(x)$. Esta abordagem envolve a discretização do meio em 200 prismas de dimensões horizontais infinitas. Seus parâmetros são z_1 (profundidade do topo), z_2 (profundidade da base), t (espessura), x_q (coordenada horizontal do vértice superior esquerdo), e ρ (contraste de densidades).

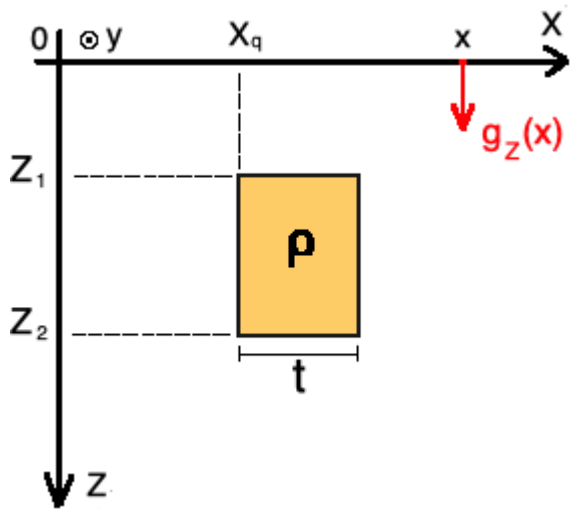

Figura 2 - Modelo gravimétrico do prisma de seção retangular e infinito na direção y.

Apesar da discretização ser feita em uma malha com 2 km de extensão horizontal e 1 km de profundidade, o modelo possui dimensões de 1 km por 1 km. A malha é graficamente representada na Figura 3. Foram utilizadas 20 estações gravimétricas, localizadas no ponto médio de cada um dos prismas.

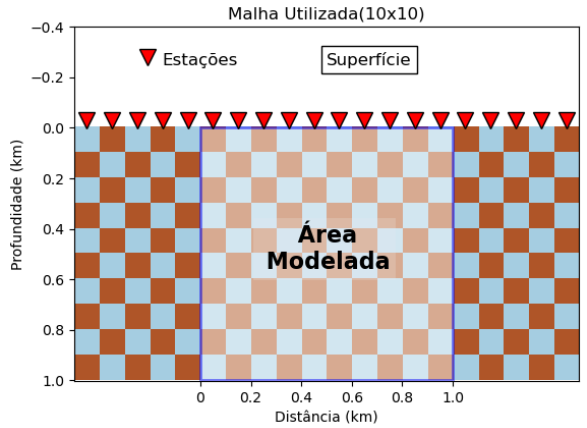

Figura 3 - Malha formada por 200 prismas verticais de comprimento horizontal infinito.

A equação que descreve a anomalia gravimétrica vertical de um prisma é dada por (Luiz & da Costa e Silva, 1995):

$$g_z(x) = 2G\rho \left\{ \frac{(x-x_q)}{2} \cdot \ln\left(\frac{z_2^2 + (x-x_q)^2}{z_1^2 + (x-x_q)^2} \right) + \right.$$
$$+ \frac{[(x-x_q)-t]}{2} \cdot \ln\left(\frac{z_1^2 + [(x-x_q)-t]^2}{z_2^2 + [(x-x_q)-t]^2} \right)$$
$$- z_2 \left[\arctan\left(\frac{(x-x_q)-t}{z_2} \right) - \arctan\left(\frac{x-x_q}{z_2} \right) \right] +$$
$$\left. + z_1 \left[\arctan\left(\frac{(x-x_q)-t}{z_1} \right) - \arctan\left(\frac{x-x_q}{z_1} \right) \right] \right\}.$$

São considerados 15 modelos gravimétricos, distribuídos em grupos de 5 para cada um dos aspectos estudados. Os detalhes das curvas de anomalia gravimétrica são mostrados na próxima seção e os modelos são apresentados na Figura 5. Para os modelos de deslocamento horizontal de contato e os com deslocamento vertical, foram considerados os seguintes valores de deslocamento: 0,1 km, 0,3 km, 0,5 km, 0,7 km e 0,9 km. Já para modelos de variação angular do mergulho, foram avaliados os ângulos: 45°, 60°, 75°, 90° e 105° graus, (Figura 4).

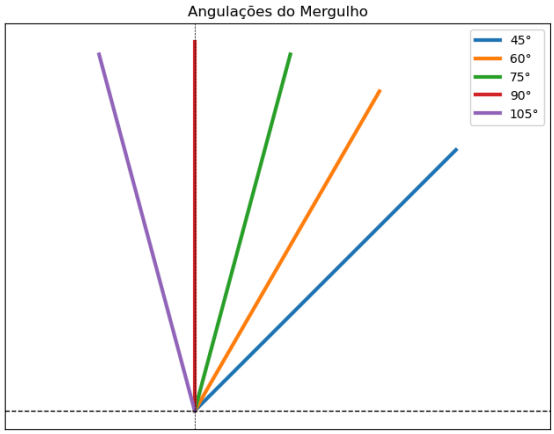

Figura 4 - Angulações de mergulho aplicadas na modelagem 2D.

Para a modelagem usamos contrastes de densidade. No entanto, para uma visualização mais clara, na Figura 5, utilizamos densidades.

Resultados

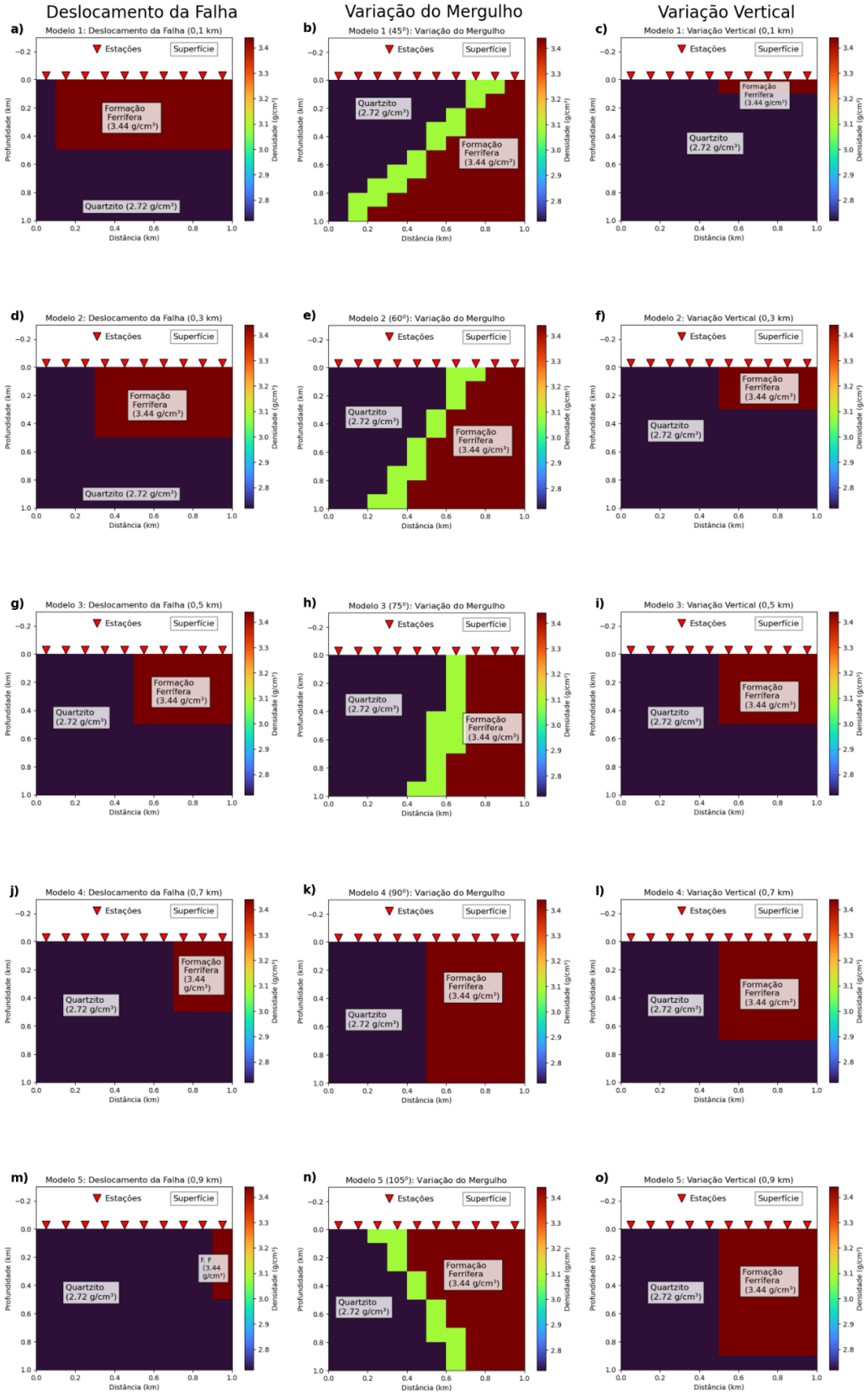

Figura 5 - Modelos gravimétricos 2D gerados a partir do deslocamento da falha, da variação do mergulho e da variação vertical da camada geológica.

No caso do deslocamento horizontal do contato geológico, as curvas de anomalia gravimétrica (Figura 6) tendem a se deslocar para a direita, com picos da anomalia variando entre 0,32 e 1,05 mgals.

Para um deslocamento de 0,1 km (Figura 5a), é evidente que há uma maior contribuição na anomalia gravimétrica, sendo a curva com maior amplitude tendo, aproximadamente, a forma de uma gaussiana (Figura 6). Esse comportamento pode ser atribuído à ampla extensão da formação ferrífera relativamente ao quartzito, que possui densidade mais baixa.

Para os deslocamentos subsequentes (Figuras 5d, 5g, 5j e 5m), de 0,3 km, 0,5 km, 0,7 km e 0,9 km, há uma diminuição da anomalia gravimétrica $g_z(x)$ devido a uma diminuição na contribuição gravitacional do quartzito com tal deslocamento do contato geológico. Conforme o deslocamento horizontal aumenta, reduz-se a contribuição da FF. Isso resulta em um deslocamento do pico da amplitude da curva na mesma direção do deslocamento horizontal (para a direita).

Para os deslocamentos de 0,7 km e 0,9 km (Figura 5 j,m), observa-se um afunilamento no pico da curva de anomalia gravimétrica, sugerindo uma complexidade adicional na influência que o contato geológico exerce nesses pontos específicos. Esta observação indica a diminuição da influência da FF. na resposta gravimétrica, resultando em reduções de amplitude e comprimento do pulso anômalo na curva gravitacional.

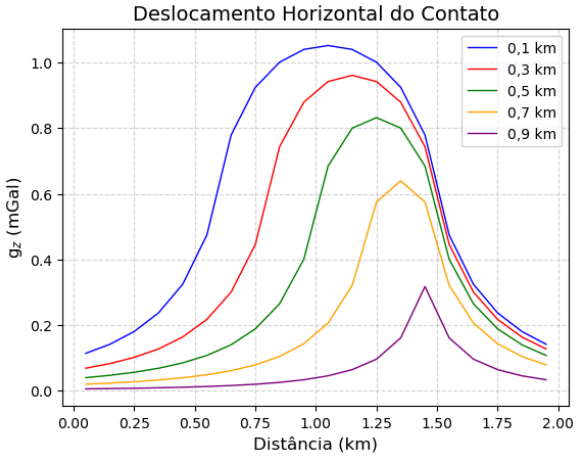

Figura 6 - Curvas de deslocamento horizontal do contato geológico.

No segundo caso, de variação angular do mergulho, observamos que, em geral, existe um aumento correspondente na intensidade de g_z conforme a inclinação do contato geológico aumenta (Figura 7), com picos da anomalia variando entre 0.97 e 1.26 mgals. Esse fenômeno resulta do aumento na contribuição da atração gravitacional pela formação ferrífera, como indicado na Figura 5. Pelo mesmo motivo, podemos observar um deslocamento da curva gravimétrica para a direita, para a angulação de 45°, 60° e 75°.

Destacam-se três cenários distintos, com ângulos de 90°, 105° e 75°, respectivamente. Notavelmente, para o ângulo de 75° (Figura 5h), observa-se uma intensidade inferior em sua componente de anomalia $g_z(x)$ em comparação com as angulações de 45° e 60° (Figura 5b e 5e, respectivamente). Embora possa parecer contraditório à primeira vista, essa discrepância decorre da contribuição relativamente inferior da FF. quando comparada às duas angulações menores.

Para os ângulos de 90° e 105° (Figura 5 k e n), observamos a perda do direcionamento da gaussiana para a direita (maior inclinação no sentido da formação rica em ferro). Aos 90° existe uma contribuição igualitária de ambas as formações, tendo a curva levemente deslocada para o sentido da F.F. Já para os 105°, temos um aumento na intensidade da anomalia gravimétrica (sendo a maior dentre os modelos) e, assim como no ângulo de 90°, um leve deslocamento da curva inteira para o sentido da FF.

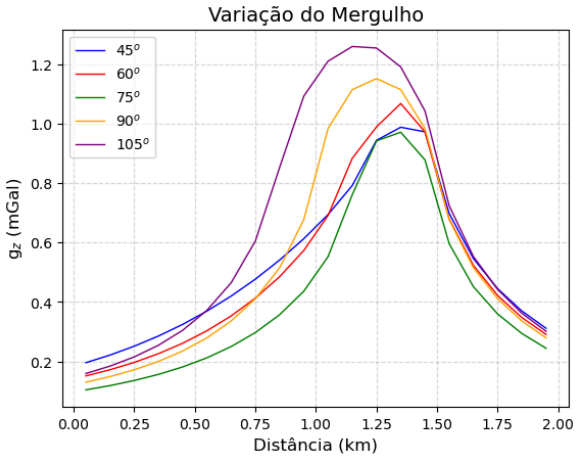

Figura 7 - Curvas de a variação do mergulho do contato geológico para diferentes ângulos.

No caso de variações verticais em profundidade, observa-se que, em geral, à medida que o deslocamento vertical aumenta, há um aumento apenas na intensidade de gz (Figura 8). É importante notar que as curvas estão dispostas uma abaixo da outra, variando apenas na amplitude, sem alteração no formato da curva. Os picos da anomalia gravimétrica variam entre 0,25 e 1,15 mgals. Além disso, é possível observar que os ápices das curvas gravimétrica estão deslocados para a direita, em direção à formação ferrífera, conforme demonstrado na Figura 5.

Destaca-se a variação de 0,1 km, notável pela sua menor amplitude e maior aplainamento da curva gravimétrica em comparação com as demais. Esta característica é atribuída à significativa redução na contribuição da FF. em comparação com o quartzito.

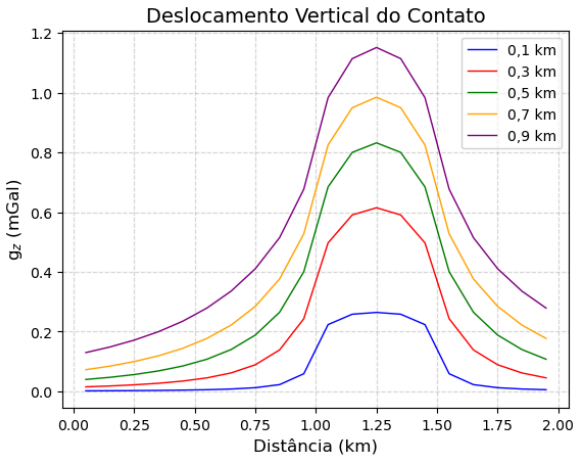

Figura 8 - Curvas do deslocamento vertical do contato geológico.

Discussão e Conclusões

Os resultados obtidos neste estudo estão em concordância com investigações anteriores, demonstrando a capacidade de analisar de forma satisfatória a sensibilidade dos dados gravimétricos a variações verticais, horizontais e angulares. Isso possibilita a identificação do comportamento das curvas características das zonas de contato geológico. Esta abordagem científica não só amplia nossa compreensão das áreas de importância exploratória, mas também estimula futuras investigações para a compreensão do comportamento das curvas de anomalias gravimétricas.

Dado o estágio preliminar deste estudo, que será complementado com a aplicação da inversão geofísica, foram utilizados dados sintéticos sem a introdução de ruído. Para pesquisas futuras, recomenda-se a inclusão de ruído nos dados sintéticos, bem como a expansão da aplicação desta metodologia para conjuntos de dados reais.

Este estudo destaca a importância dessas abordagens na análise e interpretação dos dados gravimétricos, proporcionando insights valiosos sobre a estrutura e composição das formações geológicas subjacentes. Além disso, apresenta uma alternativa para a análise preliminar da anomalia gravimétrica através da modelagem por meio de uma malha prismática.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia (CPGG) e ao Programa de Pós-Graduação em Geofísica da Universidade Federal da Bahia.

Referências

Leney, G. W. 1996; Field studies in iron ore geophysics. In: Mining Geophysics, Case Histories. Tulsa: Society of Exploration Geophysicists, v.1, p 391-417.

Luiz, J. C. & da Costa e Silva, L. M; 1995. Geofísica de Prospecção. Editora Universitária, UFPA, Editora CEJUP, Vol. 1, ISBN: 85-247-0118-8.

Nabighian, M. N., Ander, M. E., Grauch, V. J. S., Hansen, R. O, Lafehr, T. R., Li, Y, Pearson, W. C., Peirce, J. W., Phillips J. D., Ruder, M. E.; 2005. Historical development of the gravity method in exploration. Geophysics, v. 70, n. 6, p. 63ND-89ND, 2005.

Telford, W. M., Geldart, L. P., & Sheriff, R. E; 2004. *Applied Geophysics*. Cambridge university press.

Matende, K., & Mickus, K.; 2021. Magnetic and gravity investigation of kimberlites in north-central Botswana. Geophysics, v. 86, n. 2, p. B67-B78.

Olatunji, S. & Osazuwa, I. B; 2022. Gravimetric detections for characterizing intrusive geometry in the Precambrian basement of northwestern Nigeria. *Arabian Journal of Geosciences*, *15*(23), 1719.