

## **Análise da modelagem 2D de dados gravimétricos da Província Alcalina de Goiás utilizando os interpoladores de mínima curvatura e IDW**

Raphael Di Carlo Silva dos Santos<sup>(1)</sup>

Data de submissão: 5/4/2020. Data de aprovação: 22/6/2020.

**Resumo** – Obter a delimitação de corpos alcalinos é de extrema importância para o mapeamento geológico, pois auxilia futuros estudos de prospecção. Apresentamos neste trabalho uma interpretação da anomalia gravimétrica Registro do Araguaia, pertencente à Província Alcalina de Goiás, que é caracterizada por uma série de pequenas intrusões magmáticas alcalinas de características ultramáficas a félsicas. A gravimetria é um método geofísico que consegue delinear esses corpos devido aos altos contrastes de densidade entre as intrusões e as rochas encaixantes. Apliquei a modelagem direta em um perfil de cada mapa gravimétrico interpolado, um através da mínima curvatura e outro através do inverso da distância ponderada (IDW, da sigla em inglês). A interpretação gravimétrica do perfil interpolado pela mínima curvatura mostra dois corpos sendo um aflorante, enquanto que o perfil interpolado pelo IDW mostra um corpo com profundidade em relação à superfície de 16 m. O resultado referente ao IDW é o mais adequado, pois possui o menor erro médio quadrático do resíduo.

**Palavras-chave:** IDW. Interpretação gravimétrica. Mínima curvatura. Modelagem direta. Província Alcalina de Goiás.

## **Analysis of 2D gravity data modeling of Goiás Alkaline Province using minimum curvature interpolators and IDW**

**Abstract** – Obtaining the delineation of alkaline bodies is extremely important for geological mapping, because it supports future prospection researches. We present in this paper a gravimetric interpretation of Registro do Araguaia anomaly, belonging to the Goiás Alkaline Province, which is characterized by a series of small alkaline magmatic intrusions of ultramafic to felsic characteristics. Gravimetry is a geophysical method that manages to delineate these bodies due to the high density contrasts between the intrusions and the host rocks. We applied the direct modeling in a profile of each interpolated gravimetric map: one for minimum curvature and the other for the inverse of weighting distance (IDW). The gravimetric interpretation of the interpolated profile by the minimum curvature shows a compact body whose minimum depth of the top is 681 m, while the interpolated profile by the IDW shows two compact bodies, wherein one outcrops and the other with minimum depth in relation to the surface of 113 m. The result related to the IDW is the most appropriate, as it has the lowest mean square error of the residue.

**Keywords:** IDW. Gravimetric interpretation. Minimum curvature. Direct modeling. Goiás Alkaline Province.

### **Introdução**

A Geofísica visa à investigação de feições geológicas em subsuperfície a partir da medida de campos físicos ou da propagação de ondas (RIBEIRO; MOLINA 2018). Dentro dessa

---

<sup>1</sup> Professor doutor da Faculdade de Geofísica do Instituto de Engenharia e Geociências do *Campus* Tapajós da Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém-PA, Brasil. [\\*rssraphael@gmail.com](mailto:rssraphael@gmail.com). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6995-0835>.

ciência encontra-se a Geofísica de Prospecção, que investiga feições geológicas em subsuperfície com fim exploratório. Entre diversos métodos geofísicos de prospecção, destaca-se a Gravimetria, que se utiliza da variação da densidade dos materiais em subsuperfície para a exploração mineral ou de petróleo ou mapeamento geológico. Ela é aplicada em dados interpolados para detectar, localizar e delinear corpos geológicos em subsuperfície a partir do sinal gravimétrico em estações predefinidas (SANTOS *et al.*, 2015; LIMA *et al.*, 2019).

Uma das aplicações da Gravimetria, em termos de mapeamento geológico, é a identificação e delimitação de produtos vulcânicos em subsuperfície, caracterizando províncias alcalinas. As províncias alcalinas brasileiras são resultado de extenso magmatismo alcalino do Cretáceo (NASCIMENTO, 2018). Assim, a delimitação e a identificação desses produtos produzem informações para futuros estudos exploratórios. Entre as abordagens de interpretação de dados geofísicos, ressalta-se o uso da modelagem direta, que, por tentativa e erro, modela a forma de uma feição geológica de maneira que explique os dados observados (TALWANI; WORZEL; LANDISMAN 1959; SANTOS *et al.*, 2016). Esse método de interpretação é utilizado com frequência em trabalhos envolvendo gravimetria, por exemplo, em Nava-Flores *et al.* (2016), no Golfo do México, em Cai, Xiong e Zu. (2017), na Baía de Voisey (Canadá), e em Santos e Fróes Júnior (2017), na Bacia do Marajó.

A priori, toda observação gravimétrica precisa ser interpolada para gerar um mapa de anomalias gravimétricas. Diversos interpoladores podem ser usados, tais como a krigagem (KRIGE, 1951), vizinhança natural (SIBSON, 1961), Inverso da Distância Ponderada (Inverse of Distance Weighting, IDW, da sigla em inglês) (SHEPARD, 1968), Mínima Curvatura (SMITH; WESSEL, 1990) e Média Móvel (CHOU, 1975). Algumas aplicações de interpoladores dentro e fora da geofísica podem ser encontradas em Rodrigues e Vasques (2017), que correlacionam dados geofísicos através de modelagem geoestatística para gerar mapas interpolados de atributos do solo; em Chaves, Conceição e Guerrero (2018), que utilizam interpoladores para mapear a temperatura na Bahia; em Miranda *et al.* (2018), que fazem um estudo de amostragem para verificar qual interpolador é o mais adequado para um modelo digital de terreno; e em Vargas *et al.* (2018), que utilizam o interpolador IDW para elaborar mapas hidrogeológicos na Serra Gaúcha. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho é permitir uma comparação entre as modelagens gravimétricas 2D da anomalia Registro do Araguaia, da Província Alcalina de Goiás (PAGO), através dos interpoladores de mínima curvatura (SMITH; WESSEL, 1990) e IDW (SHEPARD, 1968). Para a comparação dos métodos de interpolação foi utilizada a validação cruzada. Essa metodologia utiliza um estimador e uma função ponderada com a distância para estimar um valor no ponto de amostragem. Assim, para uma mesma amostra, temos o valor real e estimado (MYERS, 1997), e para a escolha do melhor mapa interpolado utilizamos o menor valor Erro Médio Quadrático (RMS, na sigla em inglês) dos valores residuais.

## **Materiais e métodos**

A Província Alcalina de Goiás (PAGO) está localizada ao sul de Goiás e é o resultado de um magmatismo alcalino nas bordas da bacia sedimentar do Paraná datado do Cretácio Superior associado tanto à abertura do Oceano Atlântico Sul quanto à atividade da Pluma Tristão da Cunha (DUTRA; MARANGONI; JUNQUEIRA-BROD 2012). A PAGO abrange desde as rochas de Santo Antônio da Barra até a região sul de Santa Fé, contendo uma grande variedade de tipos petrográficos, como produtos vulcânicos, subvulcânicos e intrusivos (DUTRA; MARANGONI; JUNQUEIRA-BROD, 2012). Esses produtos penetram o embasamento do cinturão de Brasília e o Arco Magmático de Goiás e sobrepõem-se entre os basaltos e rochas sedimentares da borda da bacia do Paraná (JUNQUEIRA-BROD *et al.*, 2005). Na parte norte da província encontram-se corpos intrusivos alcalinos máficos-ultramáficos; já na parte sul há

a predominância de rochas vulcânicas associadas a diques; e na parte central predominam intrusões alcalinas subvulcânicas (JUNQUEIRA-BROD *et al.*, 2005).

De acordo com Junqueira-Brod *et al.* (2005), a porção norte é formada pelo Complexo Morro do Engenho (uma intrusão composta por dunitos, peridotitos e pisenitos), Complexo Máfico-Ultramáfico Alcalino de Santa-Fé (um corpo elíptico composto por dunito, peridotito, clinopiroxenito, gabro e sienito cujo eixo maior tem aproximadamente 9,5 km, e o eixo menor tem aproximadamente 6,5 km), Complexo Monte Claro de Goiás (formado por dunitos, peridotitos, gabros e sieno gabros de 6 km de diâmetro), intrusão de Aeronópolis (corpo alongado cujo eixo maior possui 6 km composto por olivina piroxenito, nefelina sienito e melteigito), Complexo Córrego dos Bois (domos formados por dunitos e olivina piroxenitos), Complexo Morro do Macado (formado por quatro domos compostos por dunitos, olivina piroxenitos e clinopiroxenitos) e Complexo Fazenda de Buriti (consiste de olivina clinopiroxenito, melagabros e sienitos). A parte central é formada por produtos magmáticos ultrabásicos a 10 km de Amorinópolis e pequenos derrames, diques e *plugs* na região de Águas Emendadas. Por fim, a parte sul compreende as rochas vulcânicas de Santo Antônio da Barra, através de derrames com intercalações piroclásticas (MARANGONI ;ZHANG;FERREIRA, 2016).

Para a confecção do mapa de anomalia gravimétrica foram utilizados os interpoladores de mínima curvatura e IDW. O interpolador de mínima curvatura possui três características principais:

- É um interpolador local, ou seja, leva em consideração somente a vizinhança dos pontos, não sua totalidade;
- É determinístico: não permite a associação dos erros aos valores previstos (tal como a variância na krigagem);
- É exato: prevê o mesmo valor nos pontos de observação.

A mínima curvatura, ou *spline*, é uma técnica de interpolação que utiliza polinômios para criar uma superfície de tendência cuja curvatura seja mínima, resultando em uma estimativa suavizada e prevendo o mesmo valor nos pontos de observação. O *spline* não utiliza polinômios de grandes ordens, mas divide a área em pequenas janelas cuja interpolação é feita aplicando polinômios de pequena ordem. Assim, o mapa interpolado é a soma da interpolação de todas as janelas. A aplicação do seu algoritmo consiste em resolver numericamente a equação diferencial

$$(1 - T)\nabla^2(\nabla^2 f(x, y)) - T\nabla^2 f(x, y) = 0, \quad (1)$$

cujas condições de fronteira são

$$(1 - T_b)\frac{\partial^2 f}{\partial n^2} + T_b\frac{\partial f}{\partial n} = 0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\nabla^2 f)}{\partial n} = 0, \quad (3)$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y} = 0, \quad (4)$$

em que  $T$  e  $T_b$  são os parâmetros tensoriais responsáveis por controlar o grau de suavidade da interpolação,  $\nabla^2$  é o operador laplaciano dado por  $\nabla^2 = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2}$ ,  $n$  é a fronteira e  $f$  é a solução.

Ele é muito vantajoso para criar modelos cujas medições têm valores muito próximos entre si, por exemplo, para Modelos de Elevação de Terreno cuja topografia seja suave. Além do mais, seu algoritmo não sofre decréscimo em relação ao tempo de processamento se adicionarmos muitas observações. Entretanto, sua implementação computacional é complexa, e ele não é adequado para observações cujos valores são muito bruscos para pequenas distâncias (SMITH; WESSEL 1990).

O interpolador IDW apresenta as mesmas características da mínima curvatura: ele é também local e determinístico, contudo, pode ser tanto exato quanto suavizante. Sua interpolação baseia-se na média ponderada das observações de tal forma que a influência das observações ao redor do ponto interpolado decai com a distância. O ponto a ser interpolado é calculado através da seguinte expressão

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^N W_i Z_i(x)}{\sum_{j=1}^N W_j(x)}, \quad (5)$$

em que

$$W_i(x) = \frac{1}{d(Z(x), Z_i(x))^p}, \quad (6)$$

onde  $Z(x)$  é o ponto a ser interpolado,  $Z_i(x)$  é o  $i$ -ésimo ponto vizinho a  $Z(x)$ ,  $W_j(x)$  representa a matriz de peso na  $j$ -ésima janela,  $d(Z(x), Z_i(x))$  representa a distância entre  $Z(x)$  e  $Z_i(x)$  e  $p$  representa o grau de decaimento da influência dos pontos existentes em relação ao ponto interpolado. Quanto maior for  $p$ , menor será a influência dos pontos mais distantes, e vice-versa. A vantagem do IDW reside na simplicidade da implementação computacional, entretanto o tempo computacional para o cálculo da equação (5) é proporcional ao número de observações, ou seja, quanto maior  $N$ , maior o tempo para a geração do mapa interpolado. Outra característica negativa do IDW é a geração de bull's-eye, ou efeito mira, ao redor das observações.

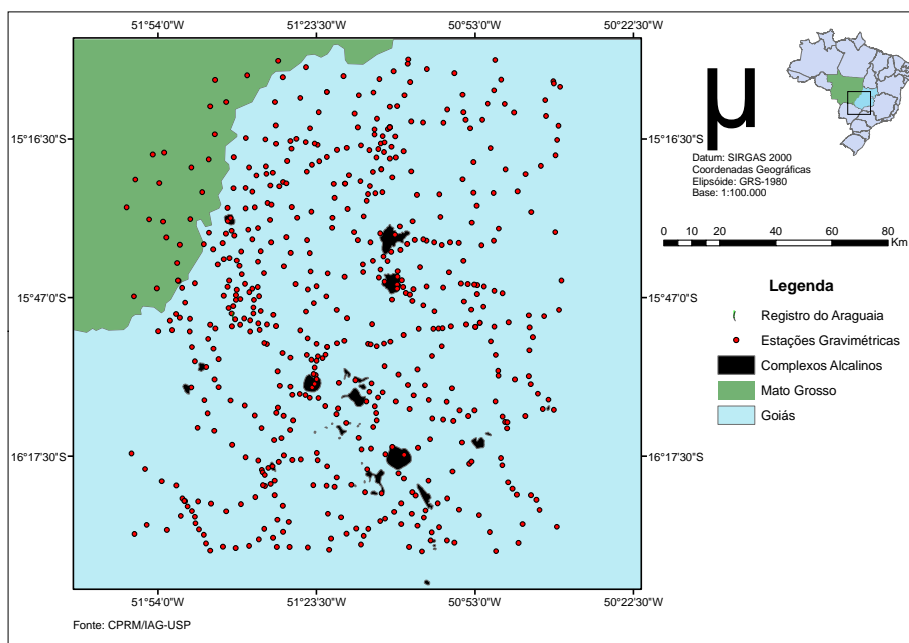
A área de estudo compreende uma malha de 177 x 154 km com 563 estações espaçadas de 2 km a 5 km em locais próximos aos corpos alcalinos (Fig.1). As aquisições e correções são mais bem detalhadas em Dutra e Marangoni (2009).

Para a confecção dos mapas de anomalia gravimétrica Bouguer foi utilizado o software SURFER (2011), e para a modelagem gravimétrica direta foi utilizado o software GMULTI (2007). Utilizei o valor de 0,24 g/cm<sup>3</sup> de contraste de densidade para a confecção dos corpos baseando-me no resultado da inversão de Dutra, Marangoni e Junqueira-Brod (2012). Esse valor foi tomado levando também em consideração a composição das intrusões da PAGO, cujas densidades variam de 3 g/cm<sup>3</sup> a 3,4 g/cm<sup>3</sup> nas áreas mais a norte e de 2,4 g/cm<sup>3</sup> a 3,33 g/cm<sup>3</sup> na parte central (JUNQUEIRA-BROD *et al.*, 2005). O parâmetro estatístico utilizado para fundamentar a escolha do melhor modelo foi tomar aquele interpolador que produz o menor RMS do resíduo, dado por

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Z_m - Z_i)^2}{N(N-1)}}, \quad (7)$$

em que  $N$  é o número de observações,  $Z_i$  é a  $i$ -ésima observação e  $Z_m$  é a média aritmética de todas as observações.

Figura 1 – Distribuição espacial das estações gravimétricas utilizadas no trabalho abrangendo os complexos alcalinos da PAGO.



Fonte: Do autor.

## Resultados e discussões

Para a confecção do mapa gravimétrico utilizando o interpolador IDW foi tomado o parâmetro  $p = 3,2081$  (Fig. 2), e para a mínima curvatura foi utilizado o parâmetro  $T = 0$  (Fig. 3). O parâmetro  $p$  foi encontrado utilizando o Geostatistical Analyst do ArcGIS 10 (ESRI, 2010). Seu princípio parte do pressuposto da minimização do erro médio quadrático percentual (*Root Mean Square Percentual Error*, RMSPE, da sigla em inglês), ou seja, são testados vários valores  $p > 1$  e para cada valor é calculado o RMSPE. O valor de  $p$  que resulta no menor RMSPE é o ideal para se usar na matriz de peso (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2010).

Em ambos os mapas se percebe a existência de cinco anomalias positivas fortes, contudo essas anomalias são aditivas, ou seja, são o resultado do efeito isolado de cada corpo alcalino. Para que os mapas apresentassem o sinal gravimétrico referente aos corpos alcalinos, realizei uma separação regional-residual via análise espectral para retirar o efeito gravimétrico de fontes mais profundas e da descontinuidade de Moho (JOHNSON; McLEOD 2016). A anomalia Registro do Araguaia localiza-se a oeste de todas as demais, e a modelagem gravimétrica direta foi realizada tomando um perfil AB no seu centro.

A Figura 4 mostra o modelo gerado pelo perfil AB da Figura 2. Representa um corpo irregular de forma aproximadamente elíptica cuja profundidade mínima do topo é de 16 m na coordenada de 6,61 km, profundidade máxima da base de 21 km na coordenada 8,92 km e extensão aproximada de 7 km. A Figura 5 mostra o modelo gerado pelo perfil AB da Figura 3, representando dois corpos irregulares cujo corpo 1 aflora, tem profundidade máxima de 14,16 km e extensão aproximada de 6 km; já o corpo 2 apresenta profundidade mínima do topo de 33 m, profundidade máxima da base de 13,5 km e extensão aproximada de 3 km.

Para comparação dos resultados, introduzi o corpo modelado do perfil referente ao IDW na anomalia do perfil referente à mínima curvatura. Percebe-se que os dados não foram



ajustados, invalidando o modelo para essa situação (Fig. 6). Da mesma forma, introduzi os corpos referentes à mínima curvatura na anomalia do perfil do IDW, e verifica-se também que os modelos não ajustam os dados (Fig. 7). De acordo com as interpretações obtidas, o modelo geológico mais bem representado é pela modelagem do perfil interpolado pelo IDW. A Tabela 1 mostra que o erro RMS residual para o mapa gerado pelo IDW é de aproximadamente 5,37, enquanto que pela mínima curvatura é de aproximadamente 14,03.

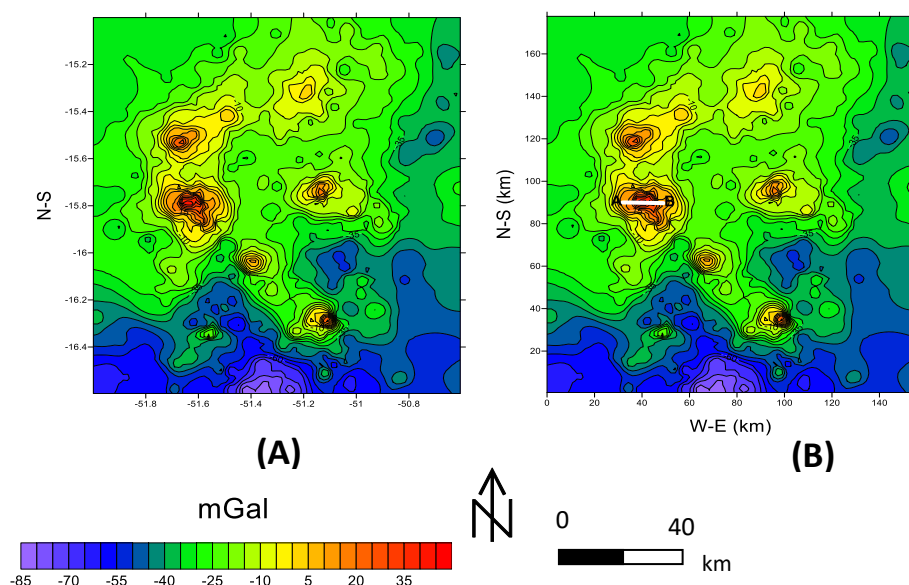
O modelo alcalino da Figura 4 converge com os resultados obtidos por Dutra, Marangoni e Junqueira-Brod (2012) para o mesmo perfil da anomalia Registro do Araguaia. Dutra, Marangoni e Junqueira-Brod (2012) utilizaram inversão dados magnéticos e gravimétricos para estimar a susceptibilidade magnética e o contraste de densidade do corpo alcalino, e obtiveram o mesmo formato do corpo com profundidade máxima de aproximadamente 20 km e extensão de aproximadamente 10 km. Seus resultados serviram de vínculo para a modelagem, ou seja, serviram de informação *a priori* para guiar a modelagem, pois utilizaram dois métodos que resultaram em interpretações convergentes, diminuindo a ambiguidade da interpretação. O resultado mostrado no presente trabalho atenta para a importância da escolha do interpolador ideal antes de qualquer interpretação quantitativa de um dado gravimétrico. Ao escolher um interpolador que produza o menor erro RMS entre os dados, podemos gerar um modelo geológico mais realístico. Portanto, a escolha de um interpolador adequado é um critério importante para diminuir a ambiguidade na interpretação geofísico-geológica.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos das interpolações.

	IDW		Mínima Curvatura	
	Z Estimado	Resíduo	Z Estimado	Resíduo
Média	-25,21	1,09	-25,65	0,63
Mediana	-24,14	1,00	-25,35	0,13
Erro RMS	32,36	5,38	35,46	14,03
Variância	412,36	27,75	600,13	196,92
Desvio-padrão	20,30	5,27	24,50	14,03

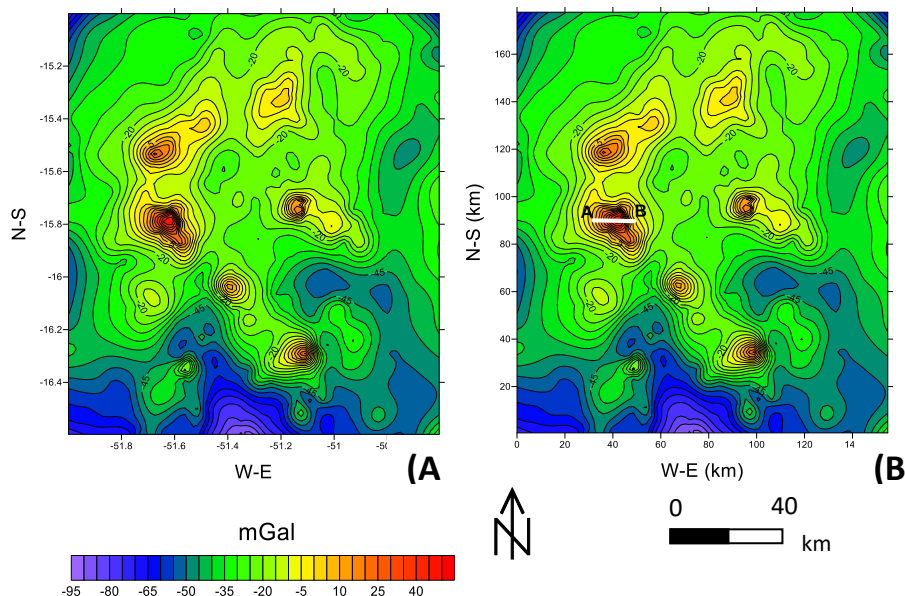
Fonte: Do autor.

Figura 2 – (a) Mapa de anomalia Bouguer da área de estudo confeccionado através do interpolador IDW em coordenadas Latitude/Longitude. (b) Mapa de anomalia Bouguer da área de estudo confeccionado através do interpolador IDW em coordenadas cartesianas. Linha branca AB representa o perfil retirado para a modelagem. Ambos os mapas foram interpolados utilizando as estações gravimétricas da Figura 1. As curvas de contorno são de 5 mGal para ambos.



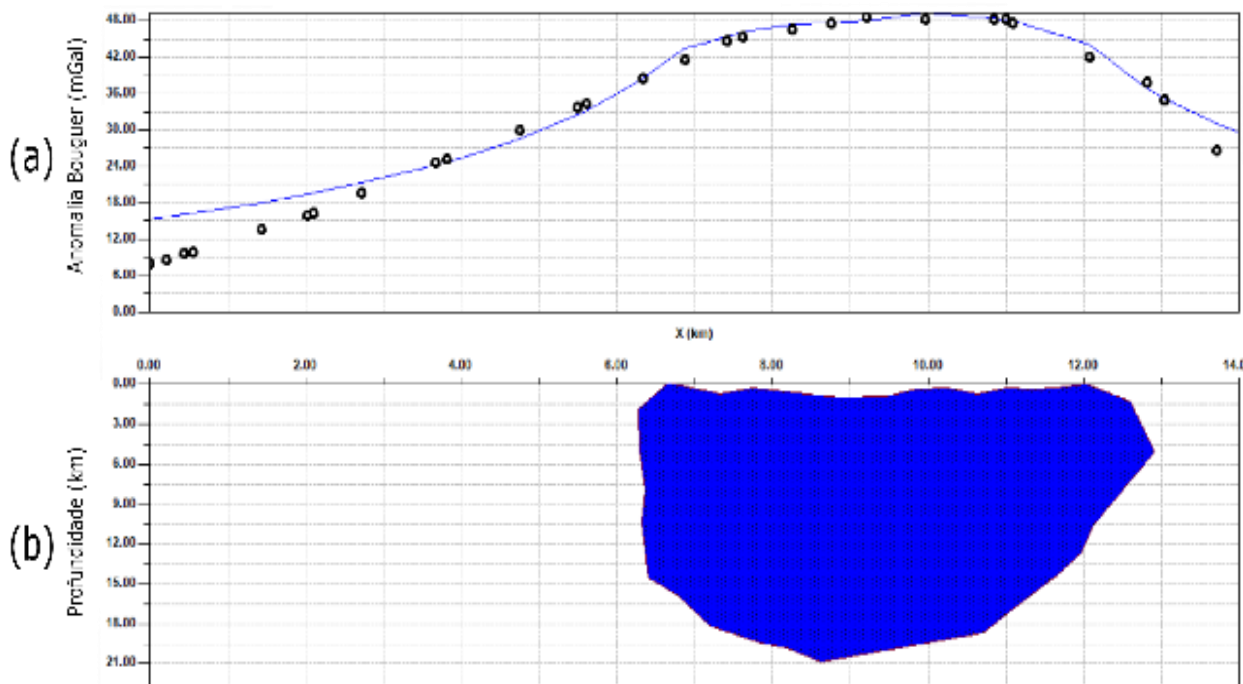
Fonte: Do autor.

Figura 3 – (a) Mapa de anomalia Bouguer da área de estudo confeccionado através do interpolador de mínima curvatura em coordenadas Latitude/Longitude. (b) Mapa de anomalia Bouguer da área de estudo confeccionado através do interpolador de mínima curvatura em coordenadas cartesianas. Linha branca AB representa o perfil retirado para a modelagem. Ambos os mapas foram interpolados utilizando as estações gravimétricas da Figura 1. As curvas de contorno são de 5 mGal para ambos.



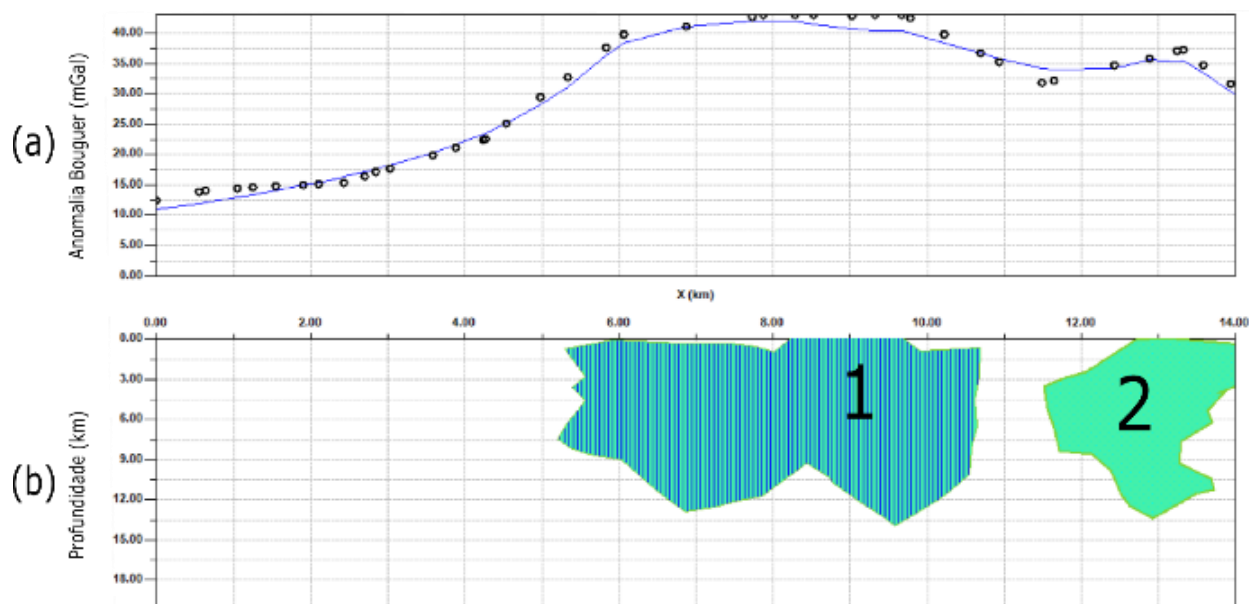
Fonte: Do autor.

Figura 4 – Perfil gravimétrico AB retirado de dados interpolados por IDW da Figura 2. (a) Perfil gravimétrico com os valores reais (pontos em preto) e modelados (linha azul) (b) Delineação estimada do corpo alcalino com base no ajuste dos valores modelados em relação aos valores reais.



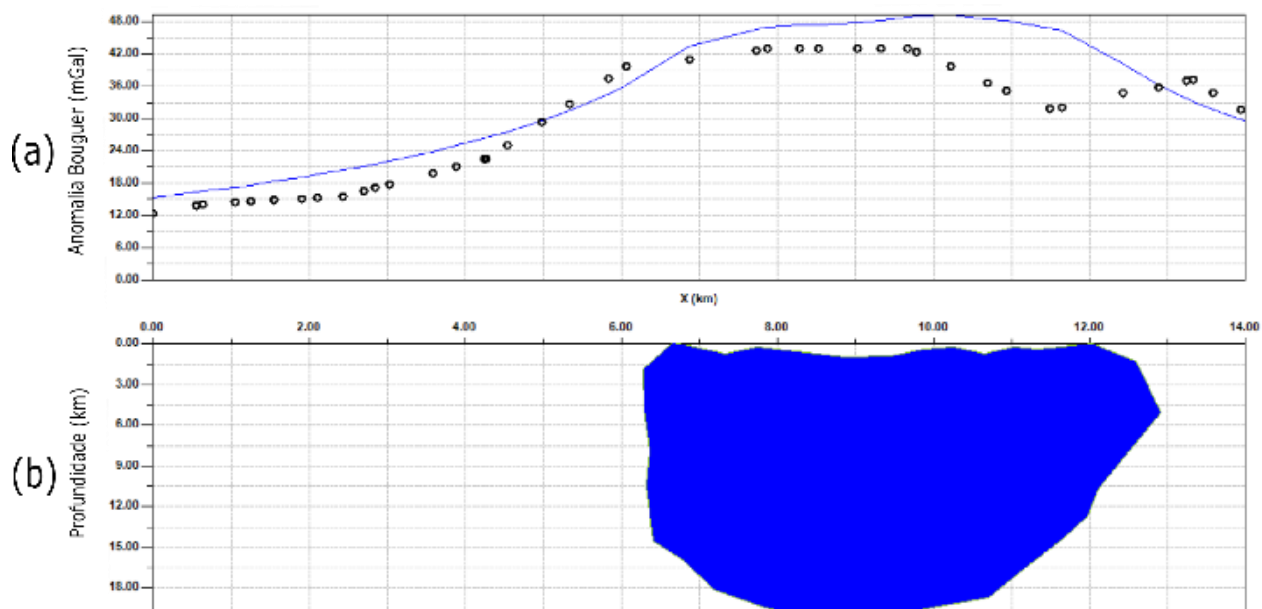
Fonte: Do autor.

Figura 5 – Perfil gravimétrico AB de dados interpolados pela mínima curvatura da Figura 3. (a) Perfil gravimétrico com os valores reais (pontos em preto) e modelados (linha azul) (b) Delineação estimada dos corpos alcalinos com base no ajuste dos valores modelados em relação aos valores reais.



Fonte: Do autor.

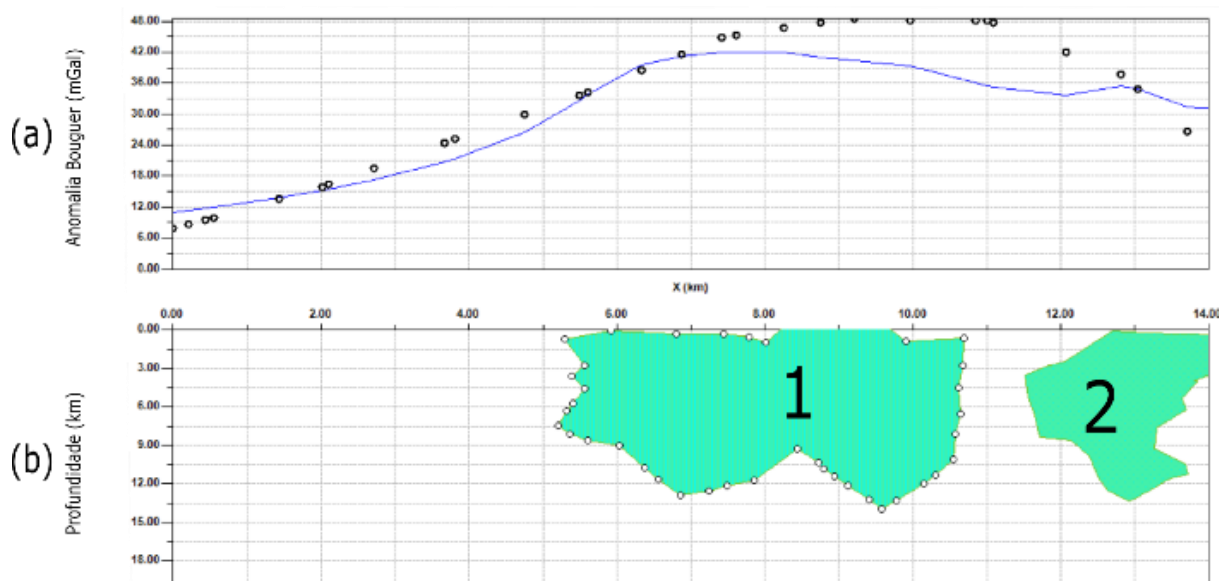
Figura 6 – Perfil gravimétrico com os valores reais do perfil interpolado via mínima curvatura (pontos em preto) e modelados (linha azul) pelo corpo único da Figura 4 (b) Corpo modelado referente à Figura 4.



Fonte: Do autor.



Figura 7 – Perfil gravimétrico com os valores reais do perfil interpolado via IDW (pontos em preto) e modelados (linha azul) pelos corpos da Figura 5. (b) Corpos modelados referentes à Figura 5.



Fonte: Do autor.

### Considerações finais

Este trabalho apresentou uma interpretação da modelagem gravimétrica de um perfil em um mapa Bouguer gerado pelo interpolador da mínima curvatura e IDW na Província Alcalina de Goiás. A modelagem resultante do perfil referente à mínima curvatura mostrou um corpo compacto de extensão aproximada de 7 km, enquanto que a modelagem resultante do perfil referente ao IDW mostrou dois corpos compactos cujas extensões aproximadas são de 6 km e 3 km. Para a comparação dos resultados foram introduzidos os corpos modelados do perfil de IDW na anomalia gerada pela mínima curvatura e vice-versa. Por conseguinte, esse procedimento ilustrou que o mesmo modelo não é válido para perfis gerados por interpoladores diferentes. A metodologia utilizada para a escolha do melhor modelo foi a validação cruzada entre os dois mapas. Sendo assim, tomamos o modelo gerado pelo interpolador de IDW como o melhor, pois ele gerou um erro RMS do resíduo menor do que o erro RMS do resíduo da mínima curvatura.

Em face da melhor interpretação gravimétrica da subsuperfície, faz-se necessário estudar os interpoladores para cada conjunto de dados gravimétricos, a fim de gerar um mapa de superfície de tendências que melhor represente o comportamento das amostras. Futuras análises poderão incluir a aplicação de outros interpoladores, como krigagem, método modificado de Shepard e vizinhança natural.

### Referências

ARCGIS. Version 10. New York: Environmental System Research Institute, 2010.

CAI, H.; XIONG, B.; ZHU, Y. 3D Modeling and Inversion of Gravity Data in Exploration Scale. In: ZOUAGHI, T. **Gravity: geoscience applications, industrial technology and quantum aspect**. London: IntechOpen. 2018. p. 20-36.

CHAVES, M.E.D; CONCEIÇÃO, K.V.; GUERRERO, J.V.R. Geoestatística no monitoramento da temperatura no Estado da Bahia. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, [s. l.], v. 3, n. 5, 2018.

CARLSON, R.W. *et al.* Chemical and isotopic relationships between peridotite xenoliths and mafic-ultrapotassic rocks from southern Brazil. **Chemical Geology**, [s. l.], v. 242, p. 415-434, 2007.

CHOU, Y. L. **Statistical analysis**. New York: Holt, Rineheart & Wilson, 1975. 794 p.

DUTRA, A. C.; MARANGONI, Y. R. Gravity and magnetic 3-D inversion of Morro do Engenho Complex, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 28, p. 193-203, 2009.

DUTRA, A. C.; MARANGONI, Y. R.; JUNQUEIRA-BROD, T. C. Investigation of the Goiás Alkaline Province, Central Brazil: application of gravity and magnetic methods. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 33, p. 43-55, 2012.

ESRI. **Geostatistical analyst tutorial**. New York, 2010. 57 p.

GMULTI, Version 1.0. Belém: UFPA, 2007.

MARANGONI, Y. R; ZHANG, H; FERREIRA, H.J. Gravity and magnetic integrated data interpretation of Córrego dos Bois Complex, Goiás Alkaline Province, Central Brazil. **Brazilian Journal of Geophysics**, [s. l.], v.33, n. 4, 2016.

NAVA-FLORES, M. *et al.* 3D gravity modeling of complex salt features in the southern Gulf of Mexico. **International Journal of Geophysics**, [s. l.], v. 2016, p. 1-12, 2016.

JOHNSON, A.; MACLEOD, I. Using power spectra for potential field data interpretation: challenges and cautions. **Journal of Geophysics**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 187-190, 2016.

JUNQUEIRA-BROD, T. C. *et al.* Emplacement of kamafugite lavas from the Goiás Alkaline Province, Brazil: constraints from whole-rock simulations. **Journal of South American Earth Sciences**, [s. l.], v. 18, p. 559-566, 2005.

KRIGE, D. G. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand. **Journal of Chemical, Metallurgic and Mining Society of South Africa**, [s. l.], v. 52, n. 6, p. 119-139, 1951.

LIMA, W.A. *et al.* A robust interactive estimation of the regularization parameter. **Geophysics**, [s. l.], v. 84, p. IM19-IM33, 2019.

MIRANDA, G.H.B. *et al.* Análise da qualidade da amostragem e interpolação na geração de MDE **Revista Brasileira de Cartografia**, [s. l.], v. 70, n. 1, p. 226-257, 2018.

MYERS, J. C. **Geostatistical error management**: qualifying uncertainty for environmental sampling and mapping. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997. 571 p.

NASCIMENTO, E.L.C. Contexto Geológico Regional. *In*: NASCIMENTO, E.L.C. **Geologia, Geoquímica e Mineralogia do Complexo Carbonatítico Morro Preto-GO**. Brasília: UnB, 2018. p. 12-16.

RIBEIRO, F.B.; MOLINA, F.B. **Geofísica: uma breve introdução**. São Paulo: USP, 2018.

RODRIGUES, H. M.; VASQUES, G.M. Integração de sensores geofísicos e geoestatística para mapear atributos do solo. *In*: PEREZ FILHO, A.; AMORIN, R.R. (org.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. Campinas: Instituto de Geociências - UNICAMP, 2017.

SANTOS, D. F. *et al.* Efficient gravity inversion of discontinuous basement relief. **Geophysics**, [s. l.], v. 80, p. G95-G106, 2015.

SANTOS, R.D.C.S. *et al.* Basement relief estimative of Parnaíba basin's west border through 2D gravity modeling. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOFÍSICA, 7, 2016, Ouro Preto. **Anais [...]**. Ouro Preto: SBGf, 2016.

SANTOS, R. D. C. S.; FROES JUNIOR, A. Interpretação gravimétrica do relevo do embasamento da Bacia do Marajó. *In*: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 15, 2017, Belém. **Anais [...]**. Belém: SBG-Núcleo Norte, 2017.

SHEPARD, D. A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *In*: ACM NATIONAL CONFERENCE, 23, 1968, New York. **Proceedings [...]**. New York: Association for Computing Machinery, 1968. p. 517-524.

SIBSON, R. A brief description of natural neighbor interpolation. *In*: BARNETT, V. **Interpreting Multivariate Data**. Chichester: John Wiley, 1981. p. 21-36.

SMITH, W. H. F.; WESSEL, P. Gridding with continuous curvature splines in tension. **Geophysics**, [s. l.], v. 55, n. 3, p. 293-305, 1990.

SURFER. Version 10.0. Golden: Golden Software. 2011.

TALWANI, M.; WORZEL, J. C.; LANDISMAN, M. Rapid gravity calculations for two-dimensional bodies with application to the mendocino submarine fracture zone. **Journal of Geophysical Research**, [s. l.], n. 64, p. 49-59, 1959.

VARGAS, T. *et al.* Aplicação do interpolador IDW para elaboração de mapas hidrogeológicos paramétricos na região da Serra Gaúcha. **Scientia cum industria**, [s. l.], v. 6, n. 3, p. 38-43, 2018.

### **Agradecimentos**

O autor agradece à Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Yara Marangoni, do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP), pela cessão dos dados gravimétricos da Província Alcalina de Goiás.