



## Gravimetria do complexo alcalino de Tapira (MG) – método e interpretação

Vanessa Biondo Ribeiro<sup>1</sup>, Marta Silvia Maria Mantovani<sup>1</sup>, 1 - Instituto de Astronomia Geofísica e Ciências Atmosféricas, IAG/USP. Rua do Matão, nº. 1226 - Cidade Universitária. CEP 05508-900. São Paulo, SP. E-mail: [vanessa.ribeiro@usp.br](mailto:vanessa.ribeiro@usp.br), [marta@iag.usp.br](mailto:marta@iag.usp.br)

Copyright 2008, SBGf – Sociedade Brasileira de Geofísica

*Este texto foi preparado para a apresentação no III Simpósio Brasileiro de Geofísica, Belém, 26 a 28 de novembro de 2008. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do III 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 complexo alcalino de Tapira é o mais meridional de uma série de intrusões contendo carbonatitos na região do Alto da Parnaíba, Minas Gerais. Neste trabalho foi empregado o método gravimétrico terrestre; o levantamento foi efetuado em três etapas e não apenas sobre o complexo, mas também nas áreas adjacentes. Através dos dados levantados, calculou-se em pontos espaçados o valor da gravidade para determinar a componente regional, visando isolar a contribuição gravimétrica do corpo.

A separação da contribuição gravimétrica foi realizada utilizando três métodos numéricos diferentes: método da omissão, "upward continuation" e o polinômio robusto. Uma vez comparados os três métodos, foi traçado um perfil sobre a anomalia gravitacional isolada, a partir do qual foi modelada a alcalina com geometria 2,5D.

Palavras-Chave: Complexo Alcalino, Tapira, gravimetria, modelo 2,5D.

### Abstract

The Tapira Alkaline Complex in the Alto da Parnaíba region (MG, Brasil) is the southernmost among the intrusions in that area which contain carbonatites. For this work a gravity survey was performed over the Complex and adjacent areas. The Bouguer anomaly was obtained from the measured data. The regional component was calculated in order to isolate the gravity contribution of the body.

To separate the gravity contribution of the body three different numerical methods were used: omission, upward continuation and robust polynomial. Once isolated the

gravity anomaly due to the alkaline body, a profile was modeled using a 2,5D geometry.

Key-Word: alkaline complex, Tapira, gravimetry, 2,5D model.

### 1. Geologia da Área

Segundo Silva et al. (2006), a Faixa Brasília na região de Tapira, exibe quatro domínios litotectônicos diferentes, imbricados através de falhas de empurrão. A escama inferior e a escama que a sobrepõe são interpretadas como derivadas de rochas depositadas em plataforma continental distal, tendo como fonte principal rochas de idade paleoproterozóica do Cráton do São Francisco. As rochas da escama superior são rochas depositadas em ambiente de talude continental ou assoalho oceânico, sendo os sedimentos fonte de idade paleo- e mesoproterozóicas do Cráton do São Francisco. O metamorfismo sofrido não foi síncrono; o que é esperado para um sistema de calvamento.

A alcalina de Tapira é aproximadamente elíptica, sendo formada por diversas intrusões de rochas plutônicas silicáticas e, em menor quantidade, por carbonatitos (figura 1). Segundo Brod et al. (2005), podem ser reconhecidas duas unidades de rochas ultramáficas no complexo: as unidades B1 e B2. Há também uma intrusão de sienitos de granulação média (S) que ocorre na parte norte do complexo, assim como em pequenos plugs espaçados (figura 1).

Segundo Brod (1999) e Brod et al. (2005), os magmas primitivos do Complexo Alcalino de Tapira sofreram diferenciação durante sua ascensão, antes de sua intrusão final. Prova disso é a presença de carbonatitos que foram produzidos por imiscibilidade de líquidos e por cristalização fracionada. Esses mecanismos petrogenéticos contrastantes produziram assinaturas geoquímicas e mineralógicas distintas, as quais podem ser usadas para identificar eventos específicos na evolução do complexo, bem como para testar a cogeneticidade de carbonatitos e rochas silicáticas associadas.

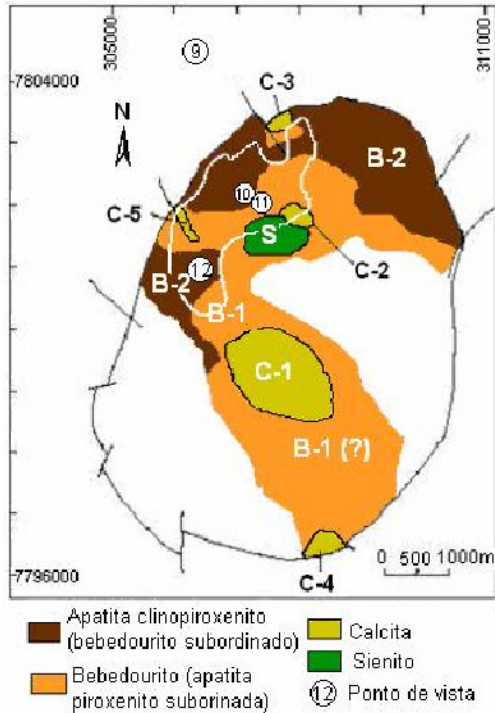


Figura 1 - Esboço do substrato do complexo de Tapira com base em testemunhos de sondagem (Brod, 1999). Séries Bebedouríticas: B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>; S – sienitos. Series Carbonáticas: C<sub>1</sub> a C<sub>5</sub>. A linha branca representa o limite atual da mina.

Brod et al. (2005) identificaram cinco episódios de atividade carbonatítica. A maior e mais recente intrusão observada (C1) ocorre em B1, na porção central da alcalina. Os carbonatitos de C2 são espacialmente associados aos sienitos (S), ao norte do complexo; porém eles também ocorrem como diques dispersos e brechas ao longo da alcalina. C3 e C4 são intrusões menores de sovitos (cálcio-carbonatitos) ocorrendo próximo às margens norte e sul, respectivamente. C5, por sua vez, assume a forma um de diques e veios de forma lenticular difundidos em um estágio tardio. A evolução da composição inicia-se com as associações de dolomitos sovitos (C1 e C2), evoluindo para sovitos puros (C3 e C4). Dolomitos ricos em carbonatitos são recorrentes nos diques em C5.

Segundo Brod et al. (2000), o magma primitivo do Complexo Alcalino de Tapira é ultrapotássico e possui uma forte afinidade com kamafugitos.

## 2. Metodologia

O método empregado para o estudo do Complexo Alcalino de Tapira foi o gravimétrico terrestre. Foi escolhido este método porque permite delimitar lateralmente a fonte causadora da anomalia em virtude

da diferença de densidade entre a fonte anômala e a rocha encaixante, o que torna este método mais adequado para o estudo de intrusões magmáticas, mesmo se comparado a métodos sísmicos (Vigneresse, 1995).

## 3. Levantamento Gravimétrico

Sobre o complexo alcalino, as estações gravimétricas foram dispostas com intervalo de 1 km, enquanto que nas áreas adjacentes ao domo as medidas foram realizadas com espaçamento de 2 km e 4 km, obtendo-se assim uma área maior para o cálculo do campo regional (figura 2).

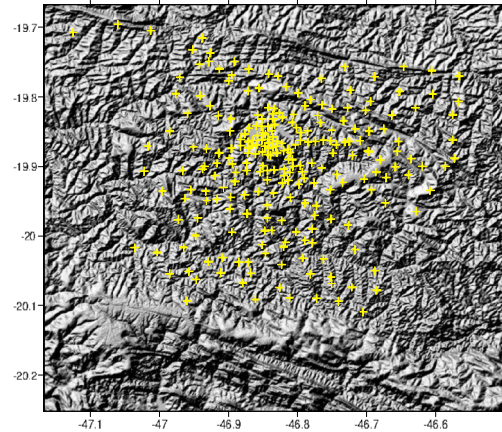


Figura 2 - Distribuição das estações gravimétricas (em amarelo) medidas na região. Observa-se no mapa a topografia em 3-D, traçada com os dados do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), do projeto NASA/USGS (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>).

## 4. Processamento dos Dados

Ao processar os dados, buscou-se o modelo matemático mais adequado para interpolar o mapa da Anomalia Bouger obtido para a região. Para isso foram analisados os resíduos obtidos por dois métodos de interpolação: mínima curvatura (figura 3) e kriging (figura 4).

Com base nos histogramas obtidos, pode-se concluir que, para o caso estudado, o método de interpolação que melhor descreveu o comportamento do campo gravimétrico obtido em função do espaço foi o kriging.

O mapa da Anomalia Bouger Completa interpolada utilizando o kriging está disposto na figura 5.

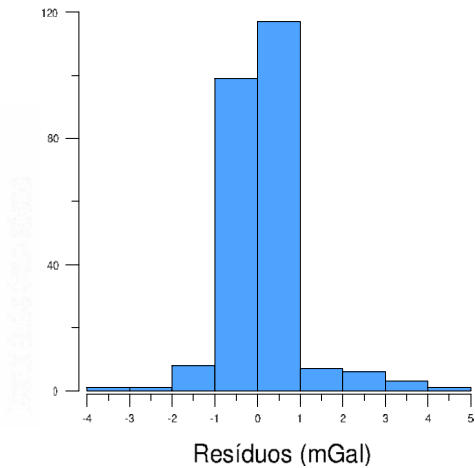


Figura 3 – Histograma dos resíduos obtidos pelo método Mínima Curvatura.

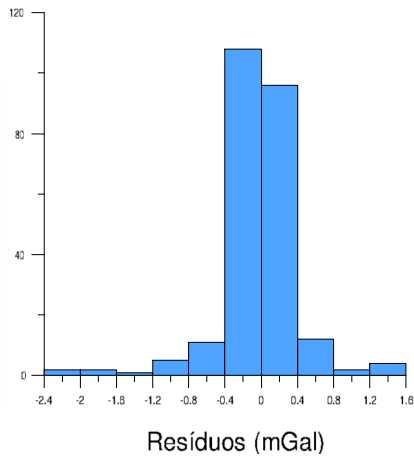


Figura 4 – Histograma dos resíduos obtidos pelo método Kriging.

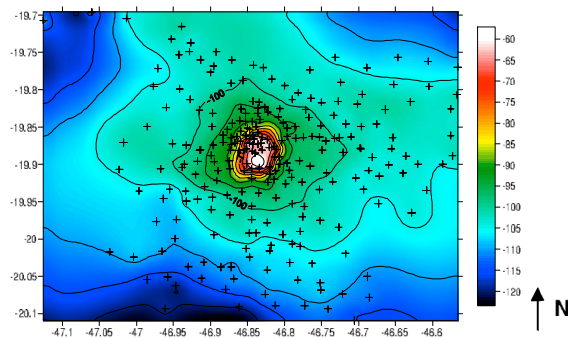


Figura 5 - Componente Regional Bouguer. As cruzes correspondem às estações gravimétricas.

Sobrepos-se o mapa de isolinhas da Anomalia Bouguer Completa (figura 5) ao mapa geológico do domo alcalino (figura 1), visando assim analisar a correlação entre os valores obtidos e a geologia do domo (figura 6).

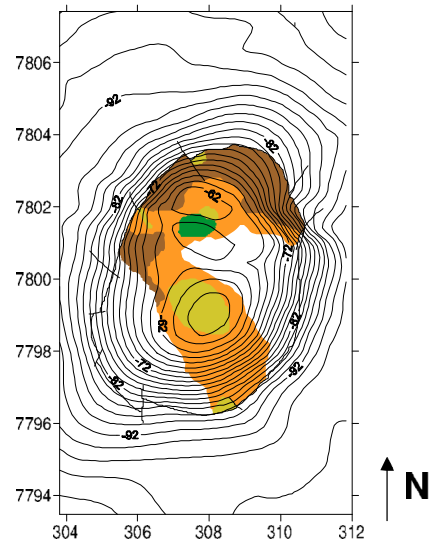


Figura 6 – Esboço do substrato do domo alcalino de Tapira. As isolinhas correspondem à Anomalia Bouguer Completa com intervalo de 2mGal, interpolada pelo kriging. Modificado de Brod (1999).

A anomalia Bouguer possui componentes gravitacionais associadas a diferentes origens (corpos com diferentes profundidades com densidades contrastantes da rocha encaixante e limites de camadas com composições mineralógicas distintas). Para separar a contribuição gravimétrica associada à diferentes fontes, utilizam-se filtros numéricos.

Para obter o melhor método de isolamento das componentes dos campos regional e residual para o caso estudado, foram comparados três diferentes métodos: método da omissão, "upward continuation" e polinômio robusto.

O método do polinômio robusto, descrito por Beltrão et al. (1991), considera a subtração da anomalia Bouguer completa por uma superfície polinomial. Sendo que o grau do polinômio dependerá da geometria, dimensão e disposição espacial dos vários corpos isolados e dos segmentos crustais e litosféricos característicos da região.

No caso do complexo alcalino de Tapira, o grau do polinômio robusto que melhor isolou o campo residual foi o de grau 1 (figura 7).

Gravimetria do Complexo Alcalino de Tapira

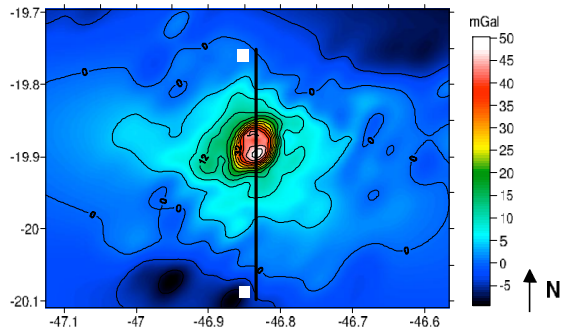


Figura 7 - Componente Residual da Anomalia Bouguer Completa. A linha preta delimita o perfil AB considerado para comparação entre os métodos de comparação.

O método da omissão baseia-se na eliminação de estações gravimétricas circunscritas a uma determinada isolinha limite. Essa isolinha é definida com base em uma série de ensaios desenvolvidos (figura 8).

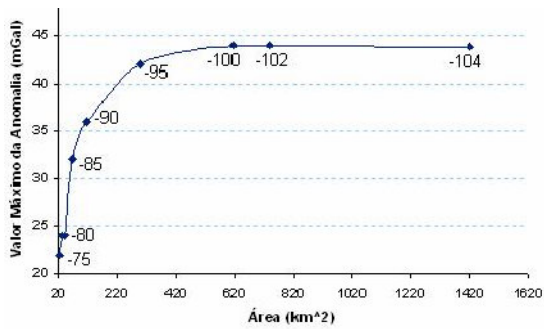


Figura 8 - Gráfico obtido para os ensaios realizados. O valor ao lado dos pontos refere-se à curva de nível associada.

Nota-se que o gráfico obtido estabiliza totalmente para o valor de -102mGal (isolinha escolhida). Foram eliminadas ao todo 107 estações, todas circunscritas a essa isolinha.

Foi então interpolado o mapa da anomalia Bouguer, desconsiderando essas estações, obtendo assim o campo regional isolado por esse método (figura 9).

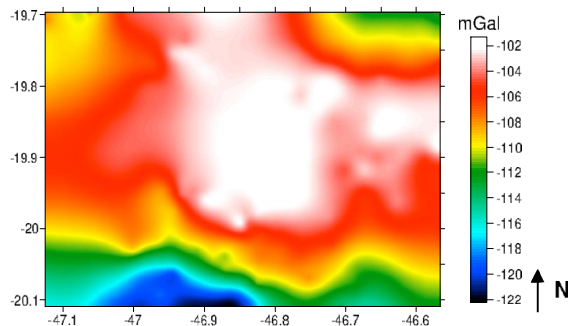


Figura 9 - Componente regional da anomalia Bouguer, obtido pelo Método da Omissão.

Ao subtrair o mapa do campo regional da anomalia Bouguer completa, obteve-se o mapa do campo residual (figura 10).

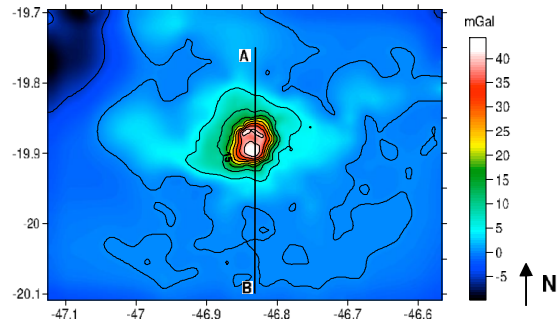


Figura 10 - Componente residual da anomalia Bouguer, obtida pelo Método da Omissão. A linha preta refere-se ao perfil considerado para análise.

O método do upward continuation, por sua vez, considera a transferência da altitude das estações gravimétricas para planos superiores, atenuando assim os pequenos comprimentos de onda e reduzindo a presença de fontes pequenas e rasas (referente ao residual).

Foram feitos diversos ensaios considerando valores crescentes de h em relação ao plano de observação. Sendo a altitude de 50m a menor altitude a não apresentar influência da alcalina.

Ao subtrair-se o mapa do regional adquirido para a altitude de 35m da anomalia bouguer completa, obteve-se o mapa do campo residual isolado por esse método (figura 11).

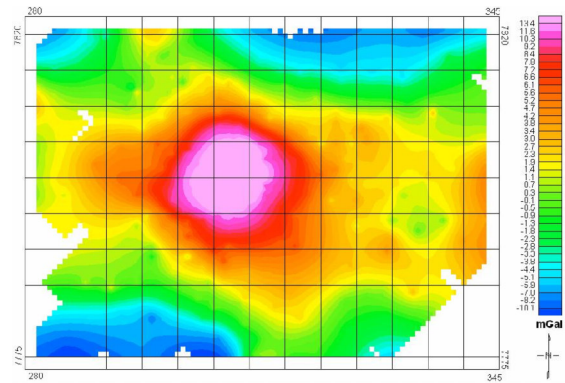


Figura 11 - Componente residual da anomalia obtido pelo método "Upward Continuation".

A escolha do melhor método foi feita através da análise do perfil da anomalia (figura 12) obtida subtraindo-se da anomalia Bouguer o regional calculado para cada um dos métodos citados.

### 5. Interpretação 2,5D

A modelagem gravimétrica com geometria 2,5D foi feita utilizando o programa "GRAVMAG" (Pedley et al. 1993), ao longo do perfil assinalado na figura 7.

No perfil AB a profundidade máxima obtida foi de 5.000km, considerando uma densidade de  $3.17\text{g/cm}^3$  para o corpo intrusivo, sendo a densidade da rocha encaixante  $2.67\text{g/cm}^3$ .

O valor da densidade considerada para o corpo intrusivo refere-se à densidade média observada para o piroxenito ( $3.00$  a  $3.33\text{g/cm}^3$ ). Foi modelado ainda um segundo corpo de menor densidade interno à alcalina, com densidade correspondente ao carbonatito ( $2.5\text{g/cm}^3$ ).

Nas laterais da anomalia (fig. 13), a curva calculada (linha vermelha) não se ajusta muito bem ao modelo

devido à presença de litologias com diferentes densidades ao redor do corpo.

### 6. Conclusão

Através da comparação entre os resíduos obtidos, notou-se que a interpolação utilizando o kriging forneceu menor erro associado aos dados interpolados.

Ao sobrepor o mapa de isolinhas da Anomalia Bouguer Completa à geologia encontrada no domo alcalino observa-se uma forte correspondência entre as curvas de nível gravimétricas e as áreas de intrusão C-1, C-2 e S no domo alcalino.

Com base nos perfis obtidos pelos três métodos de separação, nota-se que o método da omissão e o "upward continuation" apresentaram uma amenização do valor da anomalia residual, o que pode ser explicado pelo fato desses dois métodos não terem isolado totalmente a componente regional da residual.

Os perfis gerados pelo polinômio robusto apresentam picos mais elevados, sem apresentar distorção nas extremidades. Isso indica que esse método obteve o melhor isolamento da anomalia. É interessante notar que tanto o perfil interpolado pela mínima curvatura quanto pelo kriging apresentaram um comportamento muito parecido. Essa diferença está associada aos dados gerados pelos próprios métodos de interpolação, o que condiz com o esperado à partir da análise dos resíduos.

O ajuste da geometria 2,5D mostra uma aproximação da estrutura do corpo em subsuperfície. Os pontos de afloramento do corpo foram adotados com base nas coordenadas do mapa da alcalina (figura 1). Para um dimensionamento volumétrico da intrusão, será utilizado um método 3D, tomando como ponto de partida os parâmetros e vínculos aqui obtidos.

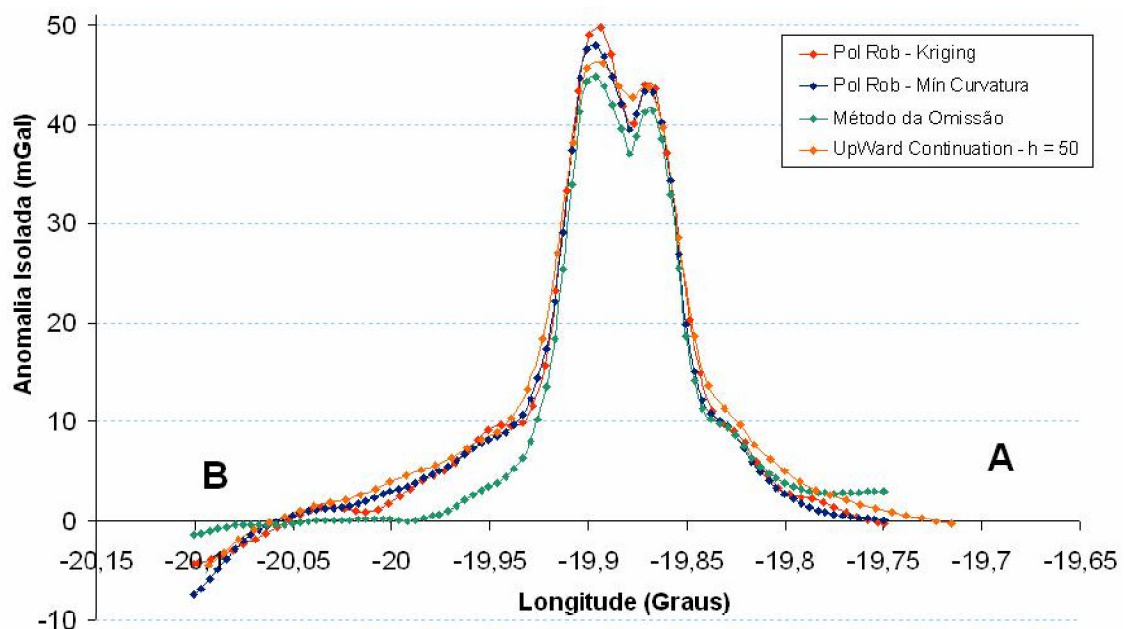


Figura 12 - Gráfico dos valores obtidos para o perfil A-B traçado na figura 7 para cada um dos três métodos considerados.

## Gravimetria do Complexo Alcalino de Tapira

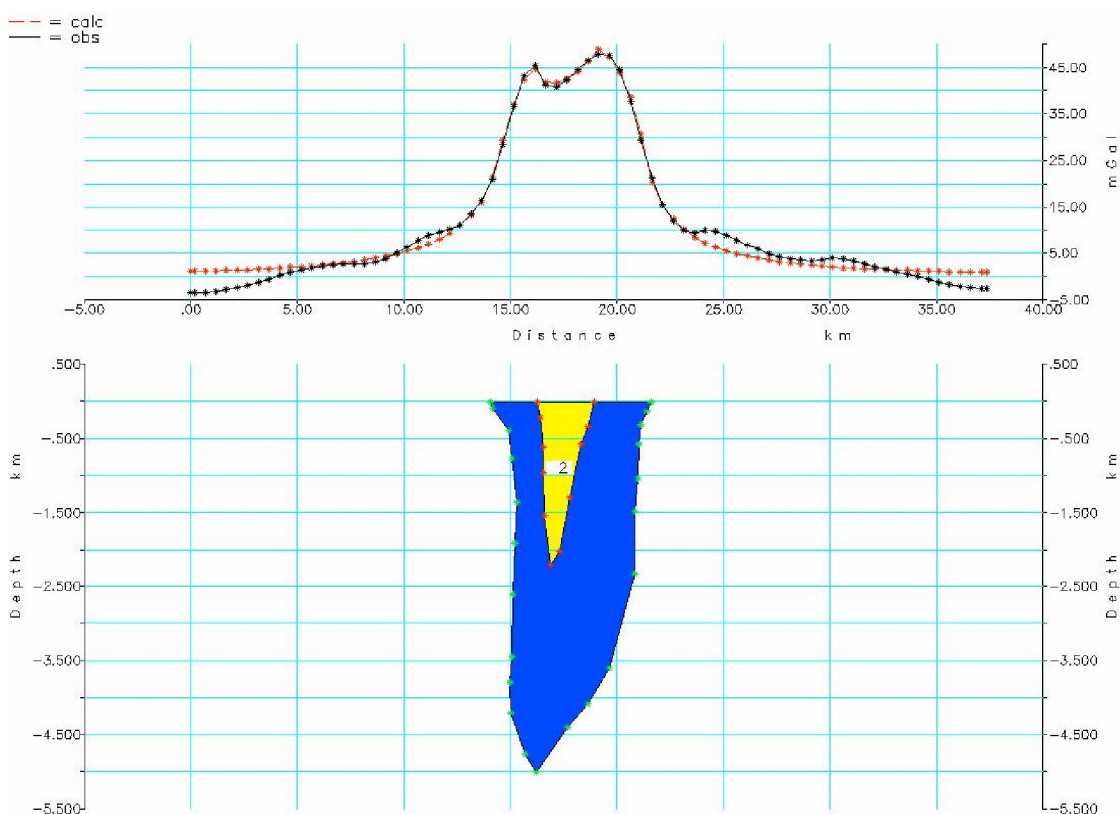


Figura 13 - Modelagem gravimétrica 2,5D obtida para o perfil AB traçado sobre a anomalia isolada pelo polinômio robusto com o interpolador kriging. A linha preta representa a anomalia observada em mGal, enquanto que a vermelha refere-se à anomalia gerada pelo modelo.

### 7. Referências

- BROD, J.A.; GIBSON, S.A.; THOMPSON, R.N.; JUNQUEIRA-BROD, T.C.; SEER, H.J.; MORAES, L.C.; BOAVENTURA, G.R. **The kamafugite-carbonatite association in the Alto Paranaíba Igneous Province, southeastern Brazil.** Revista Brasileira de Geociências, 2000, vol. 30, p.404-408.
- BROD, J.A.; GASPAR, J.C.; PINTO, H.S.D.; BROD, T.C.J. **Spinel chemistry and petrogenetic processes in the Tapira Alkaline-Carbonatite Complex, Minas Gerais, Brasil.** Revista Brasileira de Geociências, 2005, vol. 35, n.1, p. 23-32.
- PEDLEY, R.O.; Busby, J.P.; Dabek, Z.K. **Interactive 2.5D gravity & magnetic modelling – GRAVMAG user manual.** England British Geological Survey, (NERC Copyright), 1993, 73p (Regional Geophysical Series, Technical Report WK/93/26/R).
- SILVA, C.H.; SIMÕES, L.S.A.; KRYMSKY, R.; MACAMBIRA, M.J.B. **Proveniência e idade do metamorfismo das rochas da Faixa Brasília, na**

**região de Tapira (SW de Minas Gerais).** Geologia - USP, 2006, p. 53-66. (Série Científica, v. 6, n. 1).

VIGNERESSE, J.L. **Control of granite emplacement by regional deformation.** Tectonophysics, v. 249, n. 3-4, 1995, p. 173-186.

