



Gravimetria do sudoeste do Estado de Minas Gerais e nordeste do Estado de São Paulo: um estudo preliminar das feições estruturais através do Mapa de Anomalias Bouguer

Maximilian Fries*, Walter Malagutti Filho, Norberto Morales e João Carlos Dourado. Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP-Rio Claro.

Copyright 2003, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation at the 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 14-18 September 2003.

Contents of this paper was reviewed by The Technical Committee of The 8th International Congress of The Brazilian Geophysical Society and does not necessarily represents 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

A geophysical survey have been carried out at northeast of São Paulo State and Southwest of Minas Gerais State (an area 80 km wide and 97,5 long) in Brazil. The Bouguer anomaly map, geological and structural data allowed to identify three different gravity domains related to the structural features (crustal blocks limited by major discontinuities) in the area. These discontinuities interpreted as geosuture zones lying under the Paraná Basin sediments have its extend in the Pré-Cambrian Basement. The crustal discontinuities named Alterosa and Ribeirão Preto are interpreted as A-type collision sutures with triple junction arrays. Two linear prominent positive anomalies are recognized in the Bouguer anomaly map. The limit between the Brasília and São Paulo crustal blocks or paleoplates, the Alterosa suture zone is deduced to be in a NW-SE trend. Perpendicular in a NE-SW trend is the Ribeirão Preto suture. The produced Bouguer anomaly map provides information and understanding of the concepts and theories for tectonic models and geologic evolution in the area.

Introdução

A gravimetria aplicada em nível regional fornece indicações sobre o arranjo, relações e compartimentações entre massas crustais, que associadas às informações sobre a constituição litológica e as estruturas geológicas, constituem uma importante base para modelagens tectônicas. Um levantamento gravimétrico de semidetalhe, em conjunto com um levantamento estrutural, proporciona informações necessárias para formular hipóteses, bem como confirmar e/ou refinar modelos propostos buscando desta maneira a localização de eventuais estruturas de grande porte, as quais podem contribuir para a determinação de processos evolutivos que ocorreram na área.

Os principais objetivos desse trabalho ainda em fase de adensamento de pontos e de refinamento de um posterior modelo são:

- determinação dos principais gradientes gravimétricos na área correlacionáveis as zonas de sutura relativas as Descontinuidades de Alterosa e de Ribeirão Preto

permitindo a sua melhor delimitação e o conhecimento da articulação entre elas.

- refinamento e o retratamento dos dados gravimétricos existentes principalmente aqueles de Hasui *et al.*, (1989) e os coletados em campanhas de Trabalho de Graduação de alunos do 5^o ano do Curso de Geologia do IGCE-UNESP na região anos de 1994 e 1998. Nestes trabalhos foram levantados pelos alunos um total de 108 estações gravimétricas.

Contexto Litoestrutural

O quadro litoestratigráfico da área estudada (Figura 1) pode ser descrito basicamente pelo Grupo Araxá e por unidades litológicas constituintes da Bacia do Paraná. Na região, esta bacia é composta pela Formação Aquidauana do Grupo Itararé, pelas formações Pirambóia, Botucatu e Serra Geral do Grupo São Bento e coberturas superficiais.

O desenvolvimento da Bacia do Paraná deu-se no Paleozóico sobre um substrato cratonizado do Pré-Cambriano, razão pela qual foi classificada como bacia intracratônica (Davino *et al.*, 1982). Seus limites se estendem desde as bordas do Cráton do Paramirim (Lesquer *et al.*, 1981 in Davino *et al.* 1982), avançando para W e recobrando a zona de sutura.

Na região NE da bacia, esses alinhamentos estruturais se apresentam com as direções NW e NE, sendo coincidentes com os que foram encontrados no Cráton do Paramirim. A direção NW é a mais antiga (Arqueano), sendo que os alinhamentos NE se formaram a partir do Mesozóico. Esses alinhamentos estruturais são fortemente marcados por anomalias gravimétricas, representantes de descontinuidades adjacentes ao espessamento crustal, relacionadas segundo o modelo de subducção do tipo A. Assim, para o alinhamento WNW-ESSE, configura-se uma articulação de bloco crustal cavalgando sobre o outro, com limite dado por uma descontinuidade de baixo ângulo, de modo que se ajuste a ela o cinturão granulítico das rochas do Bloco São Paulo, constituindo a Zona de Sutura de Alterosa.

O lineamento NE é associado à anomalia gravimétrica (tipo 2 de Haralyi *et al.*, (1985) associada a descontinuidades sem evidência segura de espessamento crustal, na área representado pela descontinuidade de Ribeirão Preto (Hasui & Haralyi, 1982) que se manifesta por baixo dos terrenos paleozóicos e mesozóicos da Bacia do Paraná.

A região sudoeste de Minas Gerais tem seu quadro geotectônico delineado em termos de dois grandes blocos crustais, o do sul (Bloco São Paulo) e do norte (Bloco Brasília) com terrenos granito – *greenstone* separados por uma zona de sutura, na altura de Alterosa

(MG), bem marcada pela gravimetria (Haralyi & Hasui 1982, Haralyi *et al.*, 1985).

O Bloco São Paulo é representado por terrenos de alto grau, constituindo o cinturão granulítico que bordeja a zona colisional, representante das porções inferiores da crosta soerguidas pela colisão. As litologias encontradas compõem o Complexo Varginha, representado por granulitos ácidos a básicos, gnaisses graníticos diversos, gnaisses biotíticos e anfibolíticos e, com menor expressão, quartzitos, gnaisses cálcio-silicáticos, mármore e gnaisses kinzigíticos.

O Bloco Brasília apresenta as feições do bloco cavalgado, com complexos gnáissico-granitóides e sequências *greenstones* associadas, com cobertura meta-vulcano-sedimentar. O Complexo Barbacena é o representante do embasamento, com gnaisses migmatíticos, granodioríticos a graníticos de estruturas diversas, e intercalações de rochas meta-básicas e meta-sedimentares. A Sequência Vulcano-sedimentar Morro do Ferro é constituída de rochas metabásicas e metaultrabásicas, com rochas metassedimentares associadas, representantes de terrenos tipo *greenstone belt*. O Grupo Araxá representa a cobertura metassedimentar do Bloco Brasília, constituída por xistos, quartzitos e gnaisses diversos, metamorfisados em fácies xisto-verde a anfibolito (Almeida, 1997).

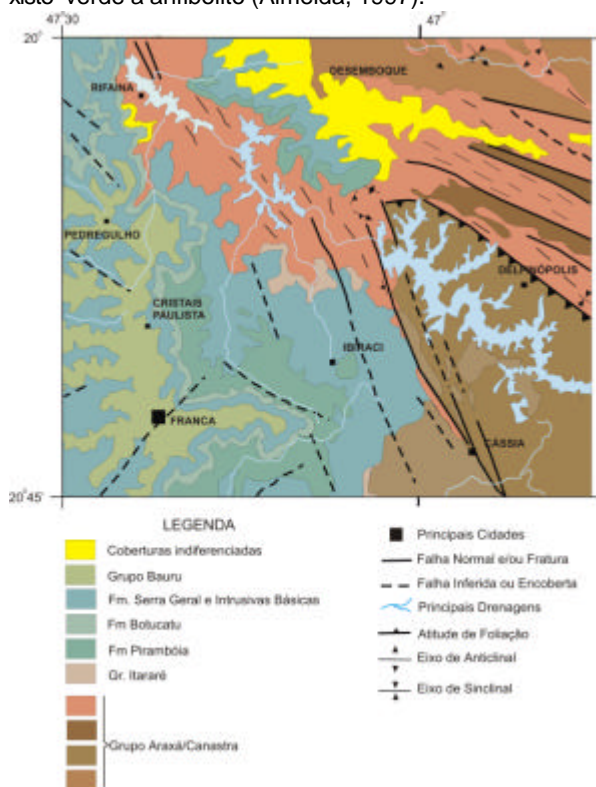


Figura 1 Principais Litologias e feições estruturais da área.

Gravimetria

A gravimetria busca mapear variações de densidade nos materiais da Terra e envolve medidas da aceleração da gravidade g relacionada com a atração exercida por um

material sobre uma massa localizada no instrumento de medida (gravímetro). O valor de g representa a aceleração normal da gravidade numa superfície de referência definida por valores numéricos que dependem do raio equatorial, do coeficiente de achatamento e da massa da terra, supondo então que a superfície deste elipsóide de referência seja uma superfície equipotencial. É expressa em miligal ($1/1000 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$). Para o cálculo das anomalias gravimétricas foi utilizada a superfície média dos mares que define o geóide, a qual nem sempre coincide com o elipsóide de referência, devido principalmente as variações de densidade laterais na Terra.

A magnitude de uma medida gravimétrica depende da latitude, elevação (altitude), relevo (ou topografia) da vizinhança da estação, marés terrestres e variações de densidade em subsuperfície. Para isolar o efeito destas variações é necessário introduzir uma correção nas medidas (redução dos dados). As correções efetuadas neste trabalho foram as seguintes: a) Correção de latitude, b) correção ar-livre, c) correção Bouguer, d) correção de atração luni-solar (marés) e f) correção da deriva instrumental. Esses procedimentos de correção são descritos em vários trabalhos, como o de Telford *et al.*, 1976 e Sheriff, 1989.

Metodologia

Foi feita inicialmente uma pesquisa bibliográfica com um subsequente levantamento dos dados pré-existentes sobre a área (Hasui *et al.*, 1989) e trabalhos de graduação de alunos do curso de geologia da Unesp (1994 e 1998).

Um levantamento altimétrico para executar as correções ar-livre e Bouguer para o conhecimento da altitude de cada estação levantada é fundamental. Para tanto foram utilizadas sempre que possível, referências de nível (RN) de primeira ordem do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para (a) implantação das estações gravimétricas e (b) como bases para um levantamento altimétrico barométrico simultâneo ao levantamento gravimétrico.

Foram levantadas até o momento em que este trabalho foi redigido 286 estações gravimétricas em um total de 500 (somando-se as 214 estações já existentes). Foi utilizado um gravímetro da marca La Coste & Romberg modelo G, e as coordenadas obtidas com o emprego simultâneo de um sistema de posicionamento geográfico (GPS) portátil. O levantamento foi executado ao longo das principais rodovias e estradas vicinais existentes com um espaçamento médio de dois a três km entre as estações. As estações base que foram empregadas para o cálculo da Anomalia Bouguer são: (a) pontos da Rede Gravimétrica Básica do Estado de São Paulo, implantada pelo Instituto Astronômico e Geofísico IAG-USP e (b) Estações Gravimétricas implantadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE, estando, portanto, localizadas na cidade de Franca (SP) e de Delfinópolis (MG). Tanto a Rede Fundamental Brasileira como a Rede Básica do Estado de São Paulo estão referenciadas a *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN71).

Os valores da Anomalia Bouguer referentes as estações levantadas foram calculadas por meio da plataforma

OASIS/MONTAJ comercializada pela Geosoft Inc. No cálculo para densidade na correção Bouguer foi adotado o valor de $2,67 \text{ g/cm}^3$. O método de interpolação das isolinhas é o da mínima curvatura adequado ao emprego de métodos geofísicos potenciais como a gravimetria.

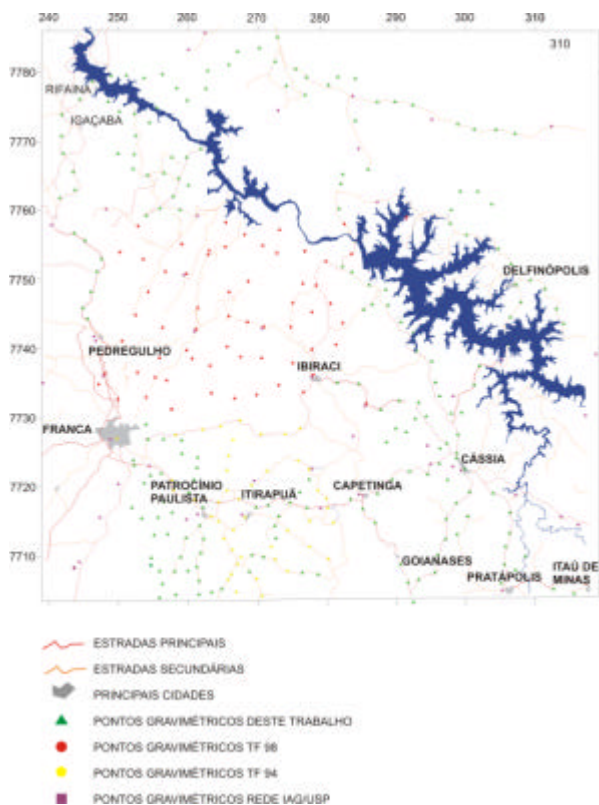


Figura 2 Mapa de pontos gravimétricos.

O mapa da Anomalia Bouguer da Figura 3 foi construído a partir de um *grid* de 80 pontos na direção X (longitude) e 83 na direção Y (latitude) gerado com os resultados de todas as estações levantadas e as compiladas.

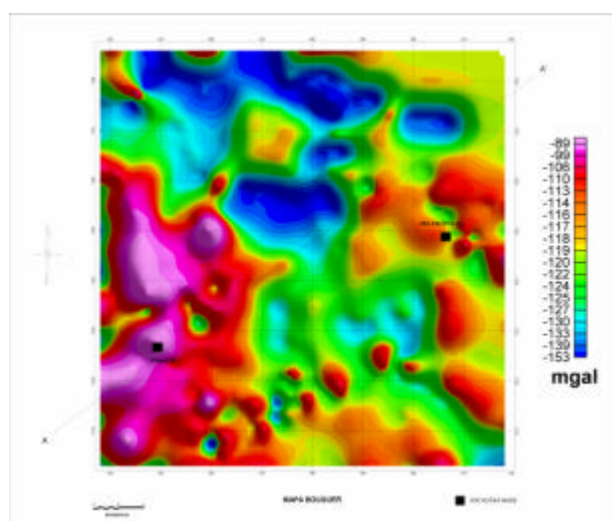


Figura 3 Mapa da Anomalia Bouguer.

Discussão

Os valores da anomalia Bouguer são maiores na porção W-SW do Mapa Bouguer com valores mais positivos de até -80 mgal tornando-se mais negativos para NE. Os maiores valores concentram-se ao longo de uma faixa alongada de direção N-S na porção oeste do mapa evidenciando uma região de alta densidade tanto em superfície como a maiores profundidades obedecendo ao modelo geotectônico de zonas de geosutura presentes na área de acordo com o modelo gravimétrico já anteriormente proposto por trabalhos anteriores (Hasui, 1975, Hasui *et al.*, 1989 e Haralyi & Hasui, 1993). Deve-se levar em consideração as soleiras espessas da Formação Serra Geral distribuídas amplamente pela área. No mapa da anomalia Bouguer, com base no contraste gravimétrico observa-se três domínios principais (Figura 4):

- (1) valores da Anomalia Bouguer variando num forte gradiente positivo (-80 a -110 mgal), localiza-se na porção extremo oeste/sudoeste numa faixa alongada de direção N-S alinhados em duas direções preferenciais (NW - SE e NE -SW).
- (2) valores fortemente negativos (-100 a -150 mgal) localizado na porção central do mapa estendendo-se ao longo de toda a área com direção NW-SE respeitando a região limítrofe que delimita bacia/embasamento.
- (3) na porção leste/sudeste, valores intermediários que variam de -95 a -120 mgal onde se localiza o embasamento, as cidades de Delphinópolis e marcando a mudança litológica da Serra da Canastra representado pela seqüência metasedimentar Araxá/Canastra.

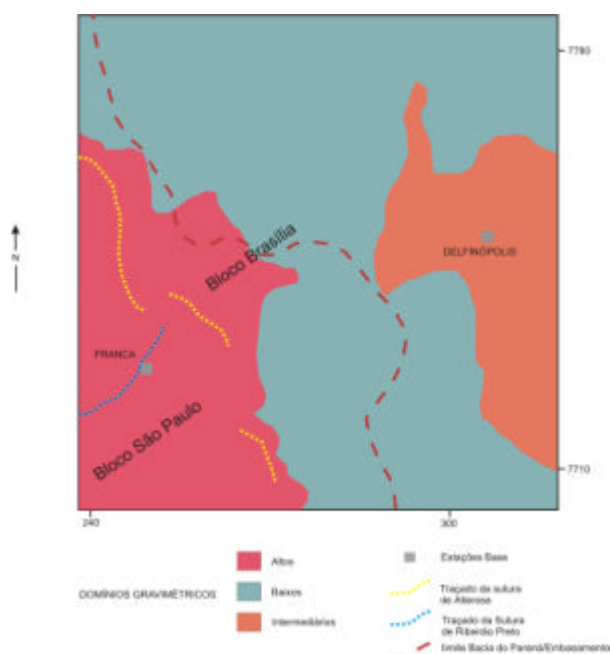


Figura 4 Principais domínios gravimétricos, Blocos Crustais e Traçados das Descontinuidades de Alterosa e de Ribeirão Preto.

Considerações Finais

Os dados obtidos permitem delinear com maior precisão a articulação e compartimentação dos blocos crustais na área estudada. Os fortes gradientes gravimétricos positivos englobam na maior parte o Bloco São Paulo tendo como seu fator delimitante a Descontinuidade de Alterosa com uma direção de NW/SE. Conjuntamente nesse domínio encontra-se a articulação com a Descontinuidade de Ribeirão Preto evidenciada tanto pelo alto gradiente gravimétrico como por falhas de subsuperfície.

A zona de articulação original das massas continentais colididas foi afetada pelos processos tectônicos na área (falha transcorrente oblíqua de Cássia) mudando a sua configuração original.

A articulação das Descontinuidades de Alterosa e de Ribeirão Preto, sendo ambas de abrangência regional certamente possuem um prolongamento além da área em questão, tendo, portanto, uma extensão e articulação complexa e mais extensa do que a observada na área.

Referências

- ALMEIDA, S. H. S. – Estruturação Tectônica da Borda Norte da Cunha de Guaxupé na Região de Alfenas (MG). Dissertação de Mestrado, Rio Claro, IGCE, UNESP, 1997. 156 p.
- DAVINO, A. 1990 – Os basaltos como meios fissurados na região de Ribeirão Preto (SP). Principais métodos de pesquisa, com ênfase na prospecção geofísica. *In*: CONGR. BRAS. GEOL., 36, Natal. SBG. Anais., Natal, SBG, V. 5, p. 2484 – 96.
- DAVINO, A.; SINNELI, O.; SOUZA, A.; CORREIA, C. T. 1982 – Diabásios na região nordeste da Bacia do Paraná. *In*: CONGR. BRAS. GEOL., 32, Salvador, SBG. Anais., Salvador. SBG, V. 4, p. 1736 – 44.
- HARALYI, N.L.E. *et al.*, Ensaio sobre a estruturação crustal do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica. SBG Boletim Especial (volume Djalma Guimarães). Belo Horizonte, p. 71-93, 1985.
- HASUI, Y & PENALVA, F. O problema do diamante do alto Paranaíba, Estado de Minas Gerais. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia, São Paulo, n. 1, p. 71-78, 1970.
- HASUI, Y. *et al.* The Phanerozoic Tectonic Evolution of the Western Minas Gerais State. *An. Acad. Bras. Ci.*, Rio de Janeiro, v. 47, n.3 e 4, p. 431-438, 1975.
- HASUY, Y; MIOTO, J. A.; HARALY, N. L. E.; SAAD, A. R. ; CAMPANHA, V. A.; HANZA, V. M.; GALLY, V. A. 1989 – Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo (Pró – Minério) – 1989. (Relatório IPT n°27394).
- HASUI, Y.; HARALYI, N.L.E. & COSTA, J.B.B. Megaestruturação Pré-Cambriana do território brasileiro baseada em dados geofísicos e geológicos. *Geociências*, São Paulo, v.12, p. 7-31, 1993.
- HODGSON, R.A. Precision Altimeter Survey Procedures. Monterey Park (Cal., EUA): American Paulin System, 1989. 59p.
- MALAGUTTI FILHO, W. *et al.* Gravimetria e compartimentação crustal do sul de Minas Gerais. *Geociências*, São Paulo, v.15, p.199-217, número especial, 1996.
- MORALES, N. 1993 – Evolução Tectônica do Cinturão de Cisalhamento Campo do Meio na sua Porção Ocidental. Tese de Doutorado. UNESP – IGCE, Rio Claro. 2 Volumes. V II pp. 125; VI
- ROBINSON, E.S. & ÇORUH, C. Basic Exploration Geophysics. New York: John Wiley & Sons, 1988. 454p.
- SHERIFF, R.E. Geophysical methods. New Jersey: Prentice Hall, 1989. 605p.
- TELFORD, W.M.; GELDART, L.P.; SHERIFF, R.E. & KEYS, D.A. Applied Geophysics. Cambridge: Cambridge University, 1976. 860p.