

ANOMALIA GRAVIMÉTRICA DO COMPLEXO MÁFICO-ULTRAMÁFICO DE CANA BRAVA, GOIÁS.

Vanessa Oliveira^{1,2}, Yara Marangoni¹

¹ Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, São Paulo, Brasil.

² CPRM Serviço Geológico do Brasil, SUREG Manaus.

Copyright 2014, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Este texto foi preparado para a apresentação no VI Simpósio Brasileiro de Geofísica, Porto Alegre, 14 a 16 de outubro de 2014. Seu conteúdo foi revisado pelo Comitê Técnico do VI 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 Máfico - Ultramáficas Cana Brava (CCB) e a Sequência Vulcânica Sedimentar de Palmeirópolis (SVSP) estão localizados entre os estados de Goiás e Tocantins, onde são explorados e conhecidos depósitos de cobre, ouro, níquel, manganês e amianto. Na inversão gravimétrica utilizou-se o algoritmo que estima a geometria de um corpo geológico 3D, assumindo a premissa de ser contínuo e maciço, onde o intérprete possui o conhecimento da profundidade do topo, contraste de densidade entre o corpo e o meio, discretizando em polígonos horizontais justapostos. Outro programa de inversão gravimétrica foi utilizado para estimar a densidade e a forma dos corpos geológicos 3D em subsuperfície, que assume a premissa de um ou mais corpos contínuos e maciços, com discretização em células (mesh).

Introdução

A área de estudo está localizada próxima à cidade de Minaçu no Estado de Goiás e se estende até o Estado de Tocantins. O CCB juntamente com os complexos de Barro Alto e Niquelândia são as maiores intrusões máficas – ultramáficas do Brasil central, formando uma faixa descontínua de extensão aproximada 300 km, como mostra a Figura 1.

Métodos geológicos convencionais já foram utilizados nessa região, com o objetivo de desvendar a forma superficial aflorante (Figura 2), como as relações estruturais, gênese e idade, mas poucas informações se têm em subsuperfície.

A geofísica vem para obter essas informações de forma indireta.

Será utilizado o método geofísico gravimétrico para obter informação sobre a distribuição de massa em profundidade, transformando-o essa informação em geometria e contraste de densidade interpretando a anomalia de massa.

Foram feitos dois testes, utilizando densidades diferentes. O primeiro com densidade de 0,27g/cm³ referente à densidade de SVSP e o segundo com densidade do CCB de 0,39 g/cm³, dados obtidos por Carminatti, Marangoni e Correia (2003) considerando a densidade da crosta terrestre de 2,67g/cm³.

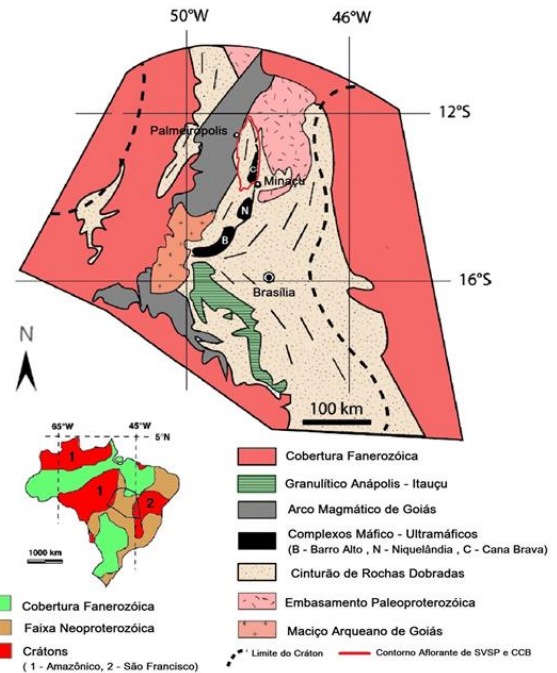


Figura 1 – Mapa geológico da porção leste da Província Tocantins e unidades geológicas adjacentes. Modificado de Ferreira Filho et al.(2010).

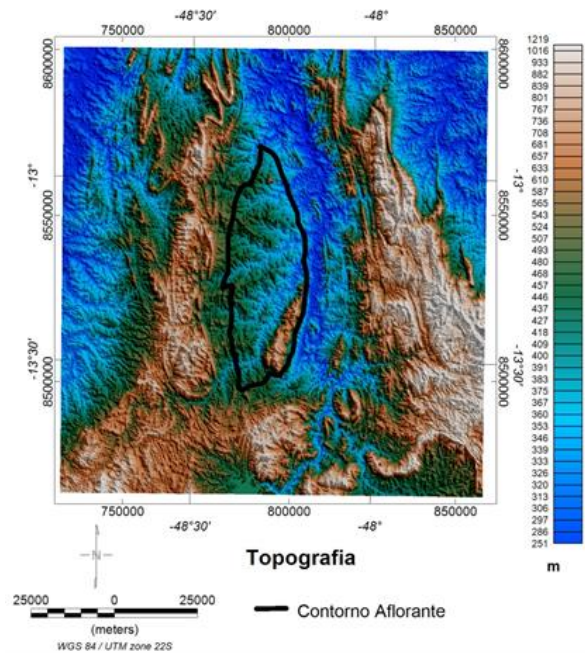


Figura 2 – Topografia da região Norte de Goiás

Metodologia

Este trabalho tem como objetivo obter modelos gravimétricos 3D do CCB e da SVSP analisando os corpos gerados a partir de uma única anomalia gravimétrica positiva (Figura 3), obtendo-se a profundidade, largura e extensão dos corpos em subsuperfície através do algoritmo proposto por Oliveira Júnior (2010).

As informações deste trabalho serão comparadas com os modelos apresentados por Carminatti, Marangoni e Correia (2003) que analisaram o sinal gravimétrico por meio de um modelo direto $2\frac{1}{2}$ D, com base no programa desenvolvido por Talwani, Worzel e Landisman (1959), resultando em dois corpos em subsuperfície. Posteriormente os mesmos resultados foram otimizados usando o algoritmo proposto por Rao e Babu (1991) que faz uma otimização em grade, gerando um modelo 3D da distribuição de densidade em subsuperfície.

Os resultados publicados por Carminatti, Marangoni e Correia (2003) mostraram que é possível individualizar os corpos de CCB e SVSP quando forçado pelo intérprete, no modelo direto ou quando os dados são processados de forma independente.

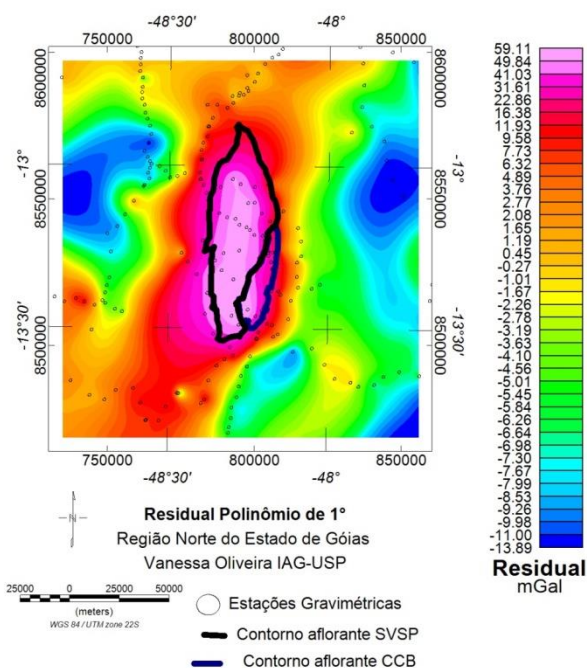


Figura 3 – Mapa de anomalia Bouguer Residual, os círculos mostram as estações gravimétricas.

Já Silva Dias, Barbosa e Silva (2009) propõem um modelo gravimétrico 3D que considera fontes múltiplas e adjacentes em um conjunto de prismas verticais justapostos, que permite inicialmente ao intérprete definir um contraste de densidade que pode variar em cada prisma. A aplicação deste algoritmo também permitiu delimitar contrastes diferenciados para a SVSP e CCB

Resultados

O método de inversão gravimétrica que estima a geometria de corpos geológicos 3D de Oliveira Júnior (2010), assume a premissa de um corpo contínuo e maciço, onde o intérprete possui o conhecimento da profundidade do topo, contraste de densidade entre o corpo e o meio. Os vínculos presentes nos algoritmos são de igualdade relativa nas distâncias radiais adjacentes no mesmo prisma, vínculo de igualdade relativa nas distâncias radiais pertencentes aos prismas adjacentes, vínculo de desigualdade utilizado para evitar a estimativa de distâncias radiais negativas e para impor que o corpo esteja localizado aproximadamente na região anômala, vínculo de compacidade, vínculo de convexidade e o vínculo do mínimo momento de inércia.

Antes de verificar o corpo gerado pela inversão é necessário fazer a análise de estabilidade e para isso plota-se o gráfico de Massa vs Desajuste (arquivo gerado pela inversão, mais detalhes em Oliveira Júnior (2010)), onde se procura a convergência dos dados. Análise dos dados da inversão do contraste de densidade de $0,27 \text{ g/cm}^3$ encontra-se na Figura 4.

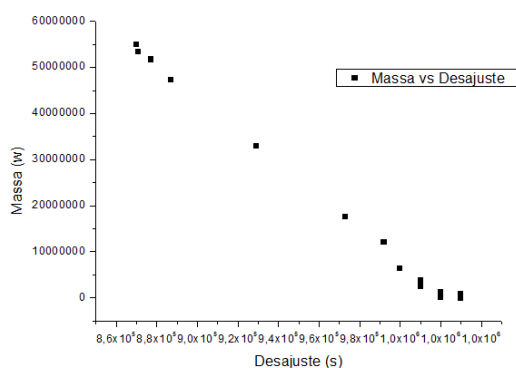


Figura 4 – Massa vs Desajuste para densidade $0,27 \text{ g/cm}^3$, onde o valor escolhido de profundidade da base foi de 6km.

De acordo a figura 4, a inversão resultou em soluções instáveis para diferentes profundidades, mesmo assim ajustou um modelo gravimétrico semelhante aos dados de entrada, de acordo a figura 3.

Utilizando contraste de densidade de $0,27 \text{ g/cm}^3$, não foi possível separar os corpos de SVSP e CCB. O corpo tem formato elipsoidal com dimensões de aproximadamente 50 km de comprimento, 25 km de largura e uma profundidade máxima de 10 km .

Análise dos dados da inversão do contraste de densidade de $0,39 \text{ g/cm}^3$ encontra-se abaixo:

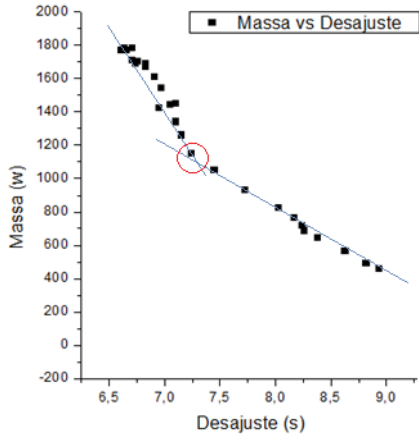


Figura 5 – Massa vs Desajuste para densidade de $0,39\text{g/cm}^3$, onde o valor escolhido de profundidade da base foi de 16km na região do círculo vermelho.

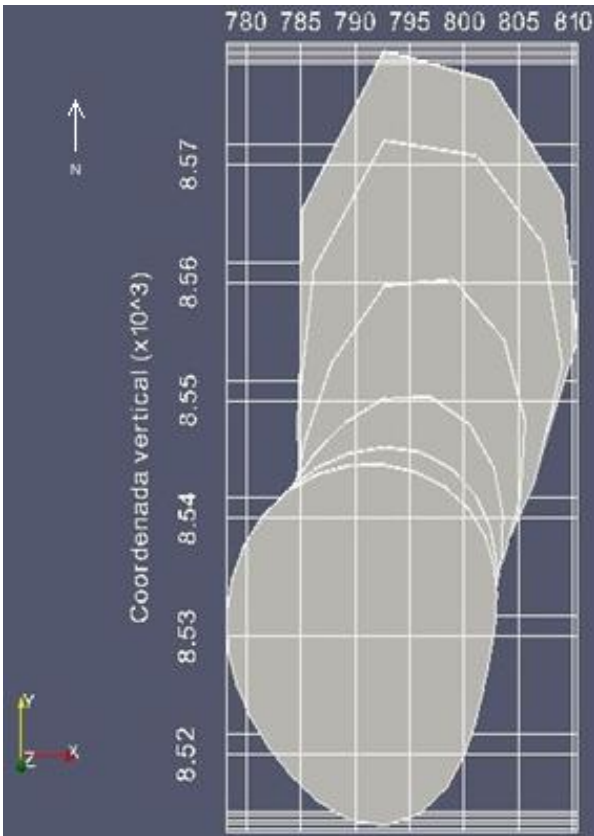


Figura 6 – Vista do corpo obtido utilizando a inversão com densidade de $0,39\text{g/cm}^3$.

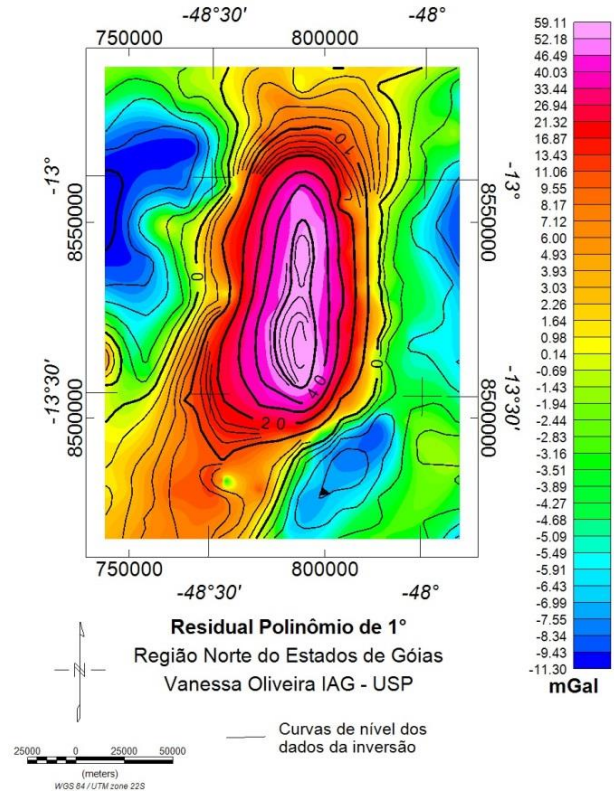


Figura 7 – Mapa Residual por polinômio de 1º dos dados preditos, com os dados da inversão em curvas de nível. Inversão com contraste de densidade de $0,39\text{g/cm}^3$.

De acordo a Figura 5, a inversão resultou em soluções estáveis para diferentes profundidades, ajustando um modelo gravimétrico semelhante aos dados de entrada, de acordo com a Figura 7.

Utilizando contraste de densidade de $0,39\text{g/cm}^3$, não foi possível separar os corpos de SVSP e CCB como mostra as Figura 6. O corpo tem formato elipsoidal com dimensões de aproximadamente 48 km de comprimento, 19 km de largura e uma profundidade máxima de 15 km.

UBC- GIF Grav3D é um programa de inversão gravimétrica para estimar a densidade e a forma dos corpos geológicos 3D em subsuperfície, que assume a premissa de um ou mais corpos contínuos e maciços. O programa tem a metodologia de Li e Oldenburg (1998).

O modelo é disposto em um espaço tridimensional ortogonal composto por células. Com valor de propriedades físicas constantes, denominado mesh, ou malha para o qual é atribuída uma altura máxima total H, largura mínima por célula (XY), e dados de topografia.

A fusão das células periféricas se dá pelo emprego de um algoritmo semiautomático que utiliza os dados de entrada, altura total H do mesh e largura mínima XY

das células, permitindo modificar a suavização dos contrastes em quaisquer direções através do emprego da função peso.

A inversão obtida pelo programa UBC- GIF Grav3D, na Figura 8.

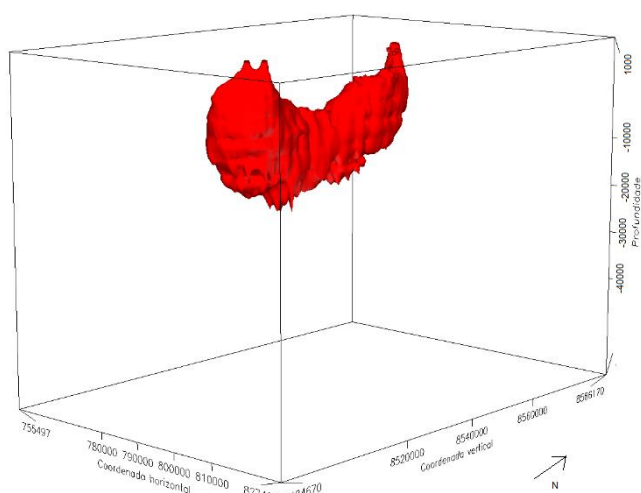


Figura 8 – Vistas do corpo obtido a partir da inversão com UBC GIF GRAV3D.

A inversão com UBC-GIF GRAV3D não foi possível separar a SVSP do CCB, nos fornecendo um único contraste de densidade no valor de $0,30\text{g/cm}^3$. O corpo tem formato elipsoidal com dimensões de aproximadamente 50 km de comprimento, 17 km de largura e uma profundidade máxima de 18 km.

Discussão e Conclusões

Os dados gravimétricos mostraram um alto de -2,6 mGal no mapa de Bouguer regional e 59 mGal no residual pelo polinômio de primeiro grau (Figura 3). Esse contraste teve uma boa associação com a geologia local demarcando os limites laterais com a Serra da Mesa e Grupo Paranoá.

Com o programa proposto por Oliveira Junior (2010) obteve-se dois modelos de inversão.

O primeiro utilizando o contraste da SVSP de $0,27\text{g/cm}^3$, o qual nos forneceu soluções instáveis, um corpo com dimensões maiores em relação ao modelo de $0,39\text{g/cm}^3$ e mais raso, com profundidade máxima de 10 km.

Esse modelo não foi considerado confiável pela instabilidade das soluções, uma sugestão de resolver essa questão é alterar os valores dos coeficientes dos vínculos de suavidade nas distâncias radiais adjacentes pertencentes ao mesmo prisma e a prismas adjacentes.

Modelo do contraste de $0,27\text{g/cm}^3$, foi interessante observar a sobreposição dos dados preditos com o resultado da inversão, á uma alta correlação das

informações mesmo com a instabilidade da solução. Assim o programa se mostrou ter uma eficiente ferramenta que auxilia na interpretação e em quantificar a qualidade das inversões.

O segundo modelo utilizou o contraste de densidade do CCB de $0,39\text{g/cm}^3$, o qual nos forneceu uma convergência no resultado e por consequência uma solução estável. Mesmo utilizando-se do vínculo de afloramento não foi possível individualizar os corpos do CCB e SVSP, que apresentou uma única formação elipsoidal de dimensões de aproximadamente 50 km de comprimento, 19 km de largura e uma profundidade máxima de 16 km.

Uma sugestão é utilizar um programa que discretize o corpo em fatias verticais ao invés de horizontais, para observar uma possível separação d a SVSP do CCB.

Com o programa UBC GIF GRAV3D, obtivemos um modelo com contraste de densidade de $0,3\text{g/cm}^3$, um único corpo com formato elipsoidal e dimensões de aproximadamente 50 km de comprimento, 17 km de largura e uma profundidade máxima de 18 km.

A limitação nesse último programa em inserir informações geológicas (vínculos), no entanto permite obter uma ótima estimativa de contraste de densidade e profundidade do corpo, o que permite o geofísico trabalhar sem muitas informações, reconhecendo as limitações da interpretação.

Comparando os modelos obtidos com programa proposto por Oliveira Junior (2010), do UBC-GIF GRAV3D com o resultado de Carminatti e Marongani (2003), temos que as dimensões dos três modelos são compatíveis entre si e apenas Carminatti e Marongani (2003) conseguiram individualizar os corpos no modelo 2D.

Agradecimentos

As professoras do IAG-USP Dra. Yára Marangoni e Leila Marques, que sempre se mostraram muito dispostas em me auxiliar e contribuir para o meu crescimento científico.

Ao Vanderlei Coelho de Oliveira Junior pela permissão do uso de seu programa de inversão gravimétrica 3D, desenvolvido em sua dissertação de mestrado e a Universidade British Columbia (UBC-GIF GRAV3D) por disponibilizar a licença acadêmica do programa.

Referências

ARAUJO, S. M.,1986. Petrologia e mineralizações sulfetadas da Sequência Vulcano-Sedimentar de Palmeirópolis, Goiás. Institute of Geoscience - Universidade de Brasília. Brasília, p. 169. (Unpublished M.Sc. Dissertation).

BARBOSA ET AL.,1999. V. Stable inversion of gravity anomalies of sedimentary basins with nonsmooth basement reliefs and arbitrary density contrast variations. Geophysics, v. 64, n. 3, p. 754-764.

- BLAKELY, R., 1995. Potential theory in gravity and magnetic applications. London: Cambridge University Press. 441 p.
- BIONDI, JC, 2003. Processos metalogenéticos E Os Depósitos minerais brasileiros. 1 ed., Oficina de Textos, São Paulo.
- CARMINATTI, M.G, MARANGONI, Y.R., CORREIA, C.T. Modelagem Gravimétrica do Complexo de Cana Brava e Sequência de Palmeirópolis, GO. Revista Brasileira de Geociências, v. 33, n. 3, p. 245-254, Setembro 2003.
- CORDELL ET AL., L. Iterative three dimensional solution of gravity anomaly used a digital computer. Geophysics, v. 33, p. 596-601, 1968.
- CORREIA, C. T. Petrologia do Complexo Máfico-Ultramáfico de Cana Brava, Goiás. Universidade de São Paulo- USP. São Paulo, p. 151p. 1994. (Tese Doutorado - IGC , USP).
- FERREIRA FILHO ET AL., 2010. Intrusões em camadas e seqüências vulcânicas no Brasil Central: constrangimentos geológicos e geocronológicos para Mesoproterozóico (1,25 Ga) e do Neoproterozóico (0,79 Ga) associações ígneas. Lithos, Precambrian Research, 183, 617-634.
- FUCK, R. A. A Faixa Brasília e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. IV Simpósio de Geologia do Centro Oeste, p. 184-187, 1994.
- LEÃO NETO ET AL., R. Projeto Palmeirópolis. Etapa Preliminar. DNPM-CPRM, p. 23, 1983.
- LI, Y., OLDENBURG, D. W., . 3-D inversion of gravity data. Geophysics, v. 63, n. 1, p. 109-119, 1998.
- LIMA, T. M. Síntese Geológica e Prospecção por Concentrados de Bateias nos Complexos Cana Brava e Barro Alto - Goiás. CPRM. Goiânia. 1997. (n°4).
- LOURO ET AL., V. 3D magnetic and gravimetric inversion of the geophysical anomaly in Cana Brava Ultramafic Complex and the Palmeirópolis Sequence in the center-west of Brazil, 2012.
- MASSON ET AL., M. R. Métodos de interpolação para modelagem de superfícies: Seminário em "Geociências e Meio Ambiente". Unesp, Rio Claro, 1999.
- MENKE, W. Geophysical data analysis: discrete inverse theory. Academic Press, Orlando, p. 260, 1984.
- NAGENDRA ET AL, R. Fortran program based on granser's algorithm for inverting a gravity field resulting from a density interface. Computers & Geosciences, v. 22, n. 3, p. 219-225, 1994.
- OLIVEIRA JUNIOR, V. C. D. Inversão Gravimétrica Radial por Camadas para a Reconstrução de Corpos Geológicos 3D. Observatório Nacional - ON. Rio de Janeiro. 2010.
- PARKER, R. The rapid calculation of potential anomalies. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, v. 31, n. 4, p. 445-449, 1973.
- PIMENTEL ET AL., M. M. O embasamento da Faixa Brasília e o Arco Magmático de Goiás. In MANTESSO NETO, V. et al. (Org.). São Paulo: Beca, 2004. 355-368 p.
- RAO, D. B., BABU, N.R. A Fortran-77 computer program for three-dimensional analysis of gravity anomalies with variable density contrast. Computer & Geosciences, v. 17, p. 655-667, 1991.
- RIBEIRO FILHO, W. Reavaliação da geologia de Pilar-Mara Rosa, In: SIMP SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO OESTE. SGB-Núcleo Centro-Oeste e Brasília, Goiânia, v. 1, p. 281-296, 1981.
- SANTOS, D. F. Processamento interpretativo de dados magnetométricos e inversão de dados gravimétricos aplicados à prospecção de hidrocarbonetos. Universidade Federal do Pará. Belém, p. 22. 2007. (e (Doutorado em Geofísica)).
- SILVA DIAS ET AL, F. J. S. 3D gravity inversion through an adaptive learning procedure. Geophysics, v. 74, n. 3, p. 19-121, 2009.
- SILVA ET AL., J. Potential-field inversion: Choosing the appropriate technique to solve a geologic problem. Geophysics, v. 66, n. 2, p. 511-520, 2001.
- SMITH ET AL., W. H. F. Gri-ding with continuous curvature splines in tension. GEOPHYSICS, v. 55, n. 3, p. 293-305, MARCH 1990.
- TALWANI M., WORZEL. J. L. , LANDISMAN, M. Rapid gravity computations for two dimensional bodies with

application to the Mendoncino submarine fracture zone. J. Geophys. Res, v. 64, p. 49-59, 1959.

UIEDA ET AL., L. Robust 3D gravity gradient inversion by planting anomalous densities. GEOPHYSICS, v. 77, n. 4, p. 55-66, JULY-AUGUST 2012. Chandler, V. W., Kiski, H. S., Hinze, W. J. & Braile, L. W., 1981. Analysis of multisource gravity and magnetic anomaly data sets by moving-window applications of Poisson's theorem. Geophysics, 46: 30-39.

Figueiredo, M. C. H., 1980. Geochemistry of high-grade metamorphic rocks, Northeastern Bahia, Brazil. Ph. D. Thesis, Department of Geology of the University of Western Ontario, Canada.

Turner, F. J. & Werhoogen, J., 1960. Igneous and metamorphic petrology. 2nd ed., McGraw Hill, New York, USA.