

Aplicação de dados potenciais de satélite, missões GRACE (WGM2012) e CHAMP (EMAG2), para a caracterização geofísica da porção norte do sudeste brasileiro com a porção norte da Faixa Brasília

*Darby Pereira Dantas de Lima ¹, * Alice Louzada da C. Carvalhêdo ¹ e Adriana Chatack Carmelo ¹.

¹Instituto de Geociência, Universidade de Brasília.

Copyright 2017, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, 31 July to 3 August, 2017.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 15th International Congress of the Brazilian Geophysical Society and do not necessarily represent 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

This work presents the geophysical-geological characterization of the northern part of the Brasília Fold Belt and the northern part of the southeast of Brazil by using potential data from the satellite GRACE and CHAMP missions and their respective compilations WGM2012 and EMAG2. From the mounting, correction and processing of the dataset, some products were obtained as Bouguer Anomaly, Total Magnetic Intensity reduced from IGRF and their derivative ones from both gravity and magnetic data. The upward continuation filters applied to gravity data bring the information of sources of longer wavelengths. And for High Frequencies, a product resulted from a subtraction of Bouguer Anomaly grid and its longer wavelengths was taken. Bouguer -Product, points out sources of lower wavelengths and the Power Spectrum provides a depth estimation of the top of gravity signatures of the study area. The integration of geophysical and geological data shows good correlation and this was also confined in other works with the same purpose. Also, when geology and geotectonic are associated, which highlights the robustness of the satellite data to characterize shallow and deep geophysical signatures of regional studies.

Introdução

Os dados de compilações de satélite são dados de escala global e por essa razão são muito utilizados para estudos regionais e fornecem assinaturas geofísicas rasas e profundas. Trindade et al. (2014) utilizaram dados gravimétricos de satélite em conjunto com dados de função do receptor no Brasil Central com o objetivo de auxiliar nas interpretações do modelo isostático e da evolução tectônica da região, bem como identificar os principais limites tectônicos. Os principais objetivos deste trabalho são mostrar a robustez dos dados potenciais de satélite como ferramenta útil e importante para estudos direcionados ao conhecimento geofísico-geológico regional baseado em fontes mais profundas que aquelas apresentadas por dados similares obtidos por levantamentos aéreos. Para isso, é necessário realizar a

integração de dados geofísicos e geológicos para análise do conhecimento geotectônico a partir da presença de anomalias de grandes comprimentos de onda. No contexto geológico, a área de estudo compreende as porções s norte e sul da Faixa de Dobramentos Brasília e regiões limítrofes (Figura 1).

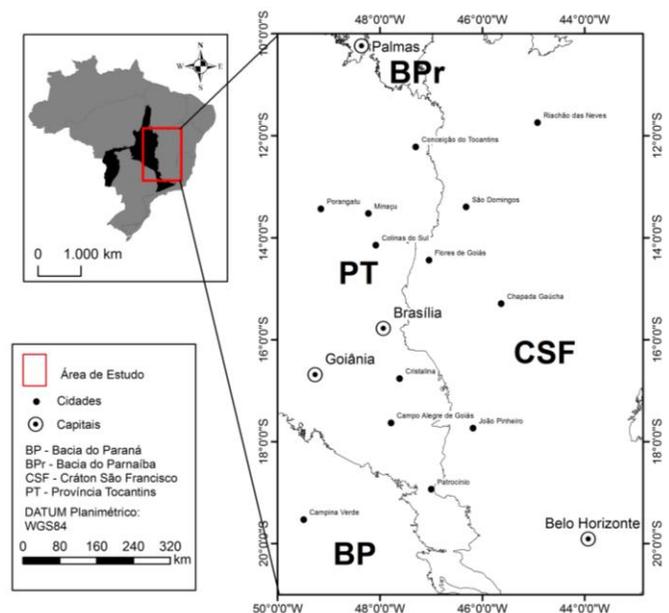


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Métodos

Em dados potenciais, as derivadas (DX, DY e DZ) são importantes produtos, pois suas aplicações matemáticas implicam no realce de altas frequências que resulta em informações oriundas de fontes mais rasas. Os produtos são obtidos a partir da Anomalia Bouguer - e do Campo Magnético Anômalo. A partir das derivadas, os produtos como a -THGD (*Total Horizontal Gradient Derivative*) e *Analytic Signal* são gerados (Nabighian, 1972; 1974; Cordell & Grauch, 1985) e indicam mudanças laterais bruscas e as intensidades das fontes geofísicas. O produto THGD equivale a raiz quadrada da soma das derivadas horizontais ao quadrado (DX e DY) e realça os limites de borda dos corpos nas direções X e Y. O produto AS se assemelha ao produto THGD, exceto na inserção da derivada vertical (DZ) na fórmula, que resulta na centralização das fontes (Li, 2006). A inclinação do sinal analítico (*Tilt*) (Miller & Singh, 1994) é dada pela função arco-tangente da razão entre a

derivada vertical e a amplitude do gradiente horizontal total e posiciona a anomalia sobre as fontes cujos valores positivos estão exatamente em cima da fonte, valores que se aproximam de zero, indicam regiões de borda e valores negativos, regiões distantes das fontes.

O produto gerado pelo filtro *Upward Continuation* representa a altura do sensor em um nível maior que a altura original de aquisição de dados e pode ser utilizada para equalizar dados adquiridos em alturas distintas e superfícies irregulares. Esse filtro é útil para realçar os efeitos de fontes profundas, pois atenua as altas frequências do sinal que estão associadas às fontes rasas (Mastellone, 2013). É útil também no auxílio da discriminação de domínios geofísicos.

O Filtro Combinado - *Matched Filter* (Spector & Parker, 1979) permite separar as anomalias causadas por *clusters* de fontes com profundidades diferentes. O espectro é composto por várias tendências lineares e representam as anomalias em profundidades particulares.

A equação de Euler é resolvida de acordo com cada posição de valor de um grid dentro de uma janela e suas incertezas variam de acordo com o índice estrutural que é predefinido (Reid et al., 1990; Kearey & Brooks, 2002). Assim, a solução é computada se o desvio-padrão da profundidade calculada for menor que a tolerância especificada de acordo com cada índice estrutural. O raio de limitação do centro da janela também é levado em consideração. Em geral, dados que apresentam zero *dummies* tendem a representar o bom funcionamento do filtro. Entretanto, dependerá de cada caso, da natureza do dado e fatores usados na preparação do banco de dados.

Resultados

Para melhor compreensão da área de estudo, foram selecionadas duas áreas alvo. A área alvo 01 se localiza na porção norte da Faixa Brasília e regiões limítrofes e a área alvo 2 está na porção centro-sul da área de estudo. Para os produtos gravimétricos, o realce das anomalias de maior comprimento de onda, foram obtidos a partir do dado de Anomalia Bouguer e suas derivadas e ainda seus respectivos domínios gravimétricos que são utilizados para discriminar o comportamento gravimétrico da área alvo 01 (Figura 2a). Embora os produtos de *Upward Continuation* não tenham sido utilizados no presente trabalho, eles foram úteis para a separação dos domínios gravimétricos por comparação com a Anomalia Bouguer. O domínio 01 é caracterizado por um baixo gravimétrico Bouguer (-131,7 a -98,09 mGal) com direção predominantemente NE-SW que podem apresentar alta profundidade em vista de que a anomalia possui um grande comprimento de onda. Em superfície, essa região pode ser caracterizada pela Zona Externa da Faixa de Dobramentos Brasília. O domínio 02 caracteriza valores intermediários a baixos de anomalia Bouguer (-96,2 a -71,5 mGal) geralmente representando o gradiente gravimétrico entre um baixo e um alto. O domínio 03, mostra valores intermediários de anomalia Bouguer (-69,9 a -64,8 mGal) com direção predominantemente NE-SW. O domínio 04 apresenta valores mais altos de Anomalia Bouguer do que o domínio 03. Tais valores

variam (-69,9 a -41,0 mGal) e apresentam direção predominantemente E-W. Ambos os domínios podem ser caracterizados como parte do embasamento do Cráton São Francisco. O domínio 05 também é chamado de gradiente gravimétrico com intensidades altas (-60,6 a -36,1 mGal) de direção NE-SW. O domínio 06 é caracterizado por anomalias gravimétricas locais e arredondadas com intensidades altas (-69,9 a 52,0 mGal) com direção preferencialmente NE-SW. Essas anomalias locais estão relacionadas aos complexos Máfico-Ultramáficos de Barro Alto, Niquelândia e Canabrava, respectivamente. O domínio 07 é caracterizado pela grande e de alta intensidade anomalia Bouguer de direção NE-SW cujas intensidades intervalam (-25,0 a 52,0 mGal). Em superfície, essa região pode ser caracterizada pelo Arco Magmático de Goiás.

A área alvo 02 compreende a porção centro-sul da área de estudo e foi escolhida por apresentar forte contraste gravimétrico na região dos limites entre a Província Tocantins e o Cráton São Francisco que mostra assinatura de baixo gravimétrico. Pinto et al. (2007) indicam que esse limite caracteriza a Placa São Franciscana e se comporta como bloco litosférico que como uma rampa constitui a porção inferior da Bacia Paraná (Figura 2b).

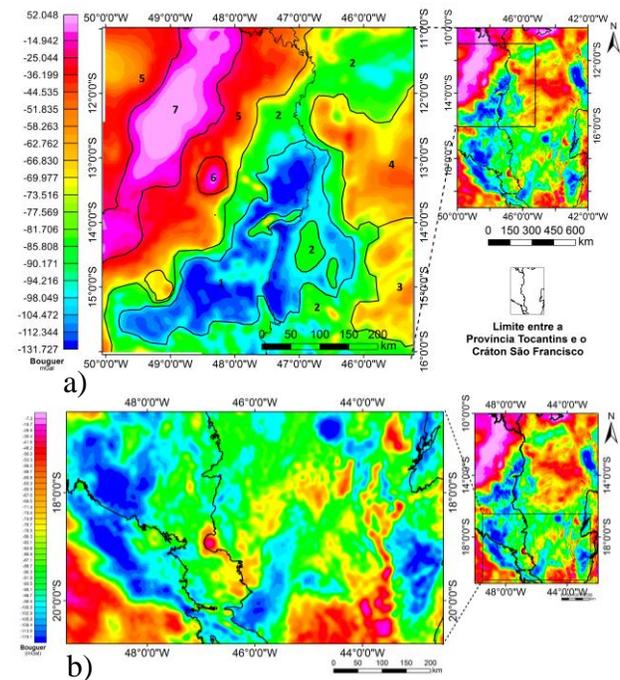


Figura 2 – a) Área alvo 01 apresenta domínios gravimétricos a partir do produto Anomalia Bouguer; **b)** Área alvo 02 e o forte contraste gravimétrico, Anomalia Bouguer, entre a Bacia do Paraná e Província Tocantins.

Para destacar as anomalias Bouguer de alta frequência presentes na área de estudo, foi utilizado um produto de altas frequências (Figura 3). As anomalias de alta intensidade Bouguer na região oeste da área de estudo são muito bem ressaltadas no produto de altas frequências Bouguer, inclusive indicam novas anomalias locais que possam estar relacionadas aos complexos Máfico-Ultramáficos, como o visualizado na área alvo 01.

Também foram observadas anomalias de alta intensidade “alongadas” com direção N-S no que seria uma anomalia Bouguer de baixa intensidade representado pela figura da anomalia Bouguer. A porção leste da área de estudo também foi caracterizada por anomalias de alta intensidade com direção preferencialmente NE-SW.

Na área alvo 02, de maneira análoga ao que ocorre na área alvo 01, as anomalias de alta intensidade mostram alongação N-S e também segundo as direções NE-SW e NW-SE, além de lineamentos gravimétricos levemente curvados que indica forte controle tectônico na região. A feição sigmoidal no extremo noroeste da área alvo 01 sugere que a região sofreu rotação e explica o controle tectônico bem pronunciado na área com lineamentos gravimétricos curvados.

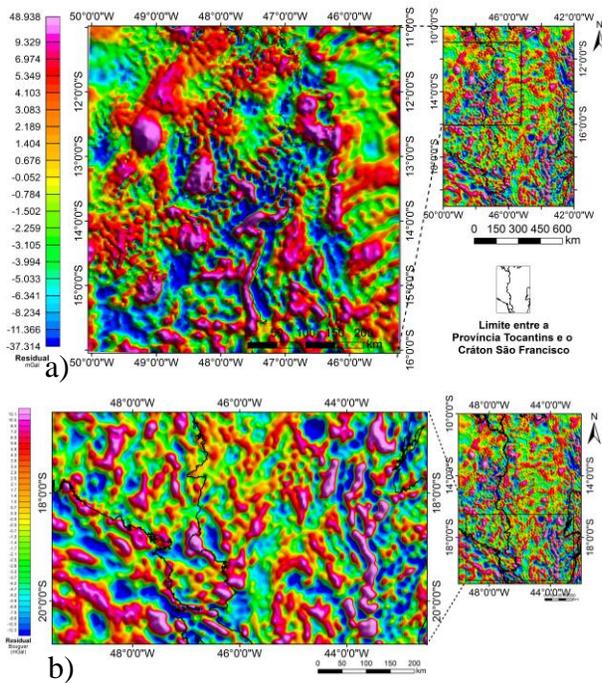


Figura 3 – a) Imagem de altas frequências da anomalia Bouguer, área alvo 01; b) Imagem de altas frequências da anomalia Bouguer ressaltando o controle tectônico NE-SW e NW-SE na área alvo 02.

O Campo Magnético Anômalo (CMA) da área de estudo mostra que as anomalias dipolares mais significativas variam de -55,04 a 45,9 nT (Figura 4). Tais anomalias estão localizadas no extremo noroeste da área de estudo com direções E-W e principalmente NE-SW e no sul e sudeste com direção NW-SE e N-S, e ocasionalmente NE-SW. Dentre tais anomalias são observados pequenos dipolos espalhados pela área de estudo. A direção preferencial das anomalias observadas no CMA são NE-SW e podem ser correlacionadas com as feições que ocorrem em superfície. As anomalias magnéticas mais intensas estão localizadas na área alvo 01 e na área alvo 2 estão as anomalias de menor intensidade. Ao extrapolar a área alvo 02, em direção a porção centro-leste, observa-se uma anomalia dipolar grande, relacionada ao quadrilátero ferrífero e as nappes que constituem os limites das províncias Tocantins e

Mantiqueira. A fase do sinal analítico (TILT) (Figura -5) mostra que toda a área de estudo é bem marcada por lineamentos magnéticos de direção preferencialmente NE-SW (vermelho), principalmente na área alvo 01. Parte dessas feições representam, em superfície, estruturas geológicas, como o Lineamento Transbrasiliiano. Lineamentos secundários apresentam direções EW (azul), N-S (verde) e NW-SE (preto). Para a área alvo 02, as direções dos lineamentos magnéticos são quase que predominantemente NE-SW. Na porção centro-leste da área, ocorre um dipolo magnético grande, como uma estrutura aproximadamente circular, cujas bordas são de intensidade magnética maior que o centro. Ainda com relação à área alvo 01, os lineamentos magnéticos com direção NW-SE a NNW-SSE estão associados em superfície aos lineamentos estruturais de rampa lateral que constituem a Falha de Empurrão Rio dos Bois e Sistema de Falhas Rio Maranhão, respectivamente limite Arco Magmático de Goiás – Maciço de Goiás e limite Maciço de Goiás - Faixa Brasília (Hasui, 2012).

Para a interpretação de toda a área, as anomalias magnéticas de grande comprimento de onda em ambientes cratônicos, principalmente ao norte da área estão localizadas na litosfera superior (crosta superior e inferior) estruturada entre 10 km a 50 km de profundidade, e dependem do fluxo de calor regional onde o principal fator é a composição mineralógica (Hall, 1974; Krutikowskaya and Pashewich, 1979). As anomalias E-W de grandes comprimentos de onda podem ser vistas ao sul da margem do Cráton Amazônico e também ao sul da margem do Cráton do Congo (Maus et al., 2007). A explicação mais plausível para essa orientação é um evento compressivo na direção N-S que antecedeu à colisão dos crátons Amazônico e São Francisco (Rosa et al., 2011).

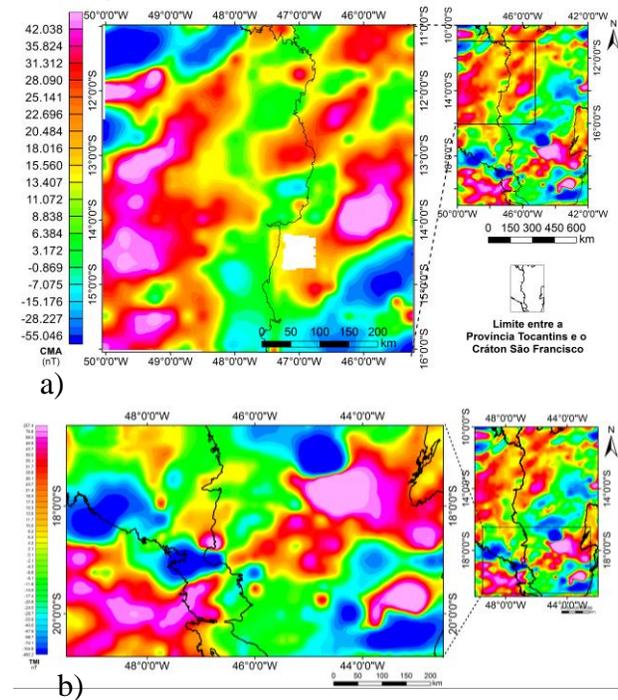


Figura 4 – Campo Magnético Anômalo (CMA); a) área alvo 01 de maior intensidade e; b) área alvo 02 com o dipolo na região do quadrilátero ferrífero.

A Figura 5 mostra as principais fontes magnéticas e suas profundidades que variam entre 5,32 km (mais rasas, cor rosa claro) e 30,20 km (mais profundas, cor azul escuro). A solução de Euler 2D foi correlacionada aos lineamentos magnéticos traçados a partir do produto TILT onde as direções preferenciais foram mantidas. Apenas a área alvo 01 foi escolhida para dar o enfoque ao partir do produto a deconvolução de Euler e TILT, por apresentar a porção com maior intensidade magnética para a área de estudo. Há predominância de fontes profundas localizadas na porção sul da área alvo 01, na porção do Cráton São Francisco, e aproximadamente 33 km de profundidade, que é equivalente ao comportamento mostrado no espectro de potência do campo magnético anômalo como fontes mais profundas em aproximadamente 43 km. Assim, as fontes de menor profundidade se encontram em aproximadamente 02,96 km e mostram anomalias de menor comprimento de onda correspondentes às respostas da crosta superior em superfície.

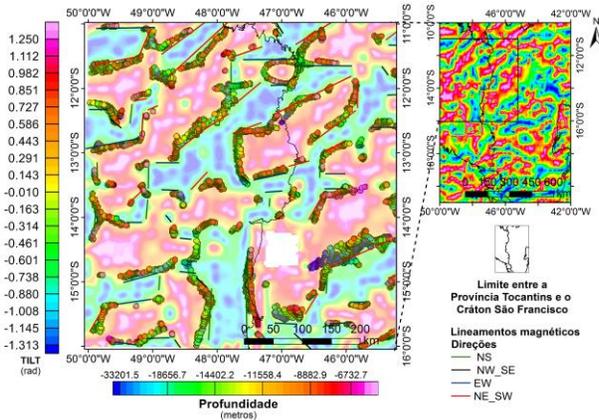


Figura 5 – Soluções de Euler em 2D do Campo Magnético Anômalo (CMA) em conjunto com o TILT e lineamentos magnéticos.

Conclusões

Este trabalho abordou a integração de informações geofísicas e geológicas e amplia as possibilidades de interpretações mais assertivas e palpáveis em relação à geotectônica da região. A geotectônica da porção norte da Faixa Brasília e regiões limítrofes (área alvo 01), descrita por Soares et al. (2005), coincide com as respostas gravimétricas obtidas neste trabalho a exemplo do alto gravimétrico de maior comprimento de onda da área de estudo. No contexto geológico, esse alto gravimétrico se localiza sob o Arco Magmático de Goiás e marca o limite do que seria a subducção da Placa Amazônica sob o Arco Magmático de Goiás, e caracteriza o último evento do Ciclo Brasileiro (Soares et al., 2005). O contraste gravimétrico evidenciado na área de estudo, destacado na área alvo 2, marca bem a porção da Placa São Franciscana como descrito por Pinto et al. (2007). Os produtos magnetométricos

mostram lineamentos magnéticos traçados a partir do produto da Inclinação do Sinal Analítico (TILT) e estão associados a importantes feições estruturais como o Lineamento Transbrasileiro, as Falhas de Empurrão Rio dos Bois, o Sistema de Falhas Rio Maranhão e Falha Paraná. Parte dessas feições lineares magnéticas, com direção NE-SW, também podem ser obtidas a partir dos produtos gravimétricos e podem representar ainda zonas de falhas. As anomalias de alta frequência foram discriminadas pelos produtos derivados do espectro de potência da Anomalia Bouguer e mostraram feições arredondadas tanto de alta intensidade quanto de baixa intensidade nas regiões adjacentes aos Complexos (área alvo 01) e ainda o forte controle tectônico em toda a porção centro-sul da área de estudo (área alvo 2), o que mostra alta resolução para os dados de satélite da Missão GRACE com a compilação WGM2012. Isto porque esses corpos de alta frequência foram descritos também em dados gravimétricos terrestres (Mantovani et al., 2005; Melo, 2006). A resposta gravimétrica a leste da área de estudo, em superfície apresentada pelo Arco Magmático de Goiás, Maciço de Goiás e Zona Externa da Faixa Brasília caracteriza uma “rampa” causada pelas diferenças crustais existentes entre eles. Ainda como “rampa”, a Placa São Franciscana adentra levemente abaixo da Bacia do Paraná e estende-se como uma grande anomalia circular nos limites das províncias Tocantins e Mantiqueira. As soluções de Euler para a região da Placa São Franciscana (Área alvo 01) mostraram que a maior quantidade de fontes magnéticas profundas da área está diretamente associada com as anomalias gravimétricas de mais alta intensidade e mostra que algumas porções da Placa estão associadas com intensidades gravimétricas mais fortes. Esses resultados de profundidades de fontes magnéticas são bons, pois em comparação com os resultados de estimativa de profundidade do Espectro de Potência para fontes magnéticas, os resultados convergem entre si. Portanto, a integração dos dados geofísicos de satélite mostra valores correlatos não apenas com às estimativas de profundidades, mas também quanto sua associação com a geologia e a geotectônica da região e indica assim, o potencial dos dados de satélite para estudos de caracterização regional a partir de assinaturas geofísicas profundas e rasas.

Referências

Almeida, F. F. M.; Hasui, Y; Brito Neves, Brito Neves, B. B & Fuck, A.R. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: 8º Simpósio de Geologia do Nordeste. Atas. Campina Grande, SBG. Atas p. 363-391.

Assumpção, M., M. An, M. Bianchi, G. França, M. Rocha, J. R. Barbosa, and J. Berrocal. 2004. Seismic studies of the Brasília Fold Belt at the western border of the São Francisco Craton, central Brazil, using receiver function, surface wave dispersion, and teleseismic tomography, Tectonophysics, 388, 173– 185.

Assumpção M., Feng M., Tassara A., Juliã J. 2013. Models of crustal thickness for South America from seismic refraction, receiver functions and surface wave tomography. Tectonophysics. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2012.11.014>.

- Balmino, G., Vales, N., Bonvalot, S., Briais, A.** 2011. Spherical harmonic modelling to ultra-high degree of Bouguer and isostatic anomalies.
- Berrocal, J., Y. Marangoni, N. Cogo de Sá, R. A. Fuck, J. E. P. Soares, E. Dantas, F. Perosi, and C. Fernandes.** 2004. Deep seismic refraction and gravity crustal model and tectonic deformation in Tocantins Province, Central Brazil, *Tectonophysics*, 388, 187–199.
- Botelho N.F., Bilal E., Moutte J., Fonteilles M.** 1993. Precambrian A-type tin-bearing granites in the goiás in Province, central Brazil: a review. In: *Academia Brasileira de Ciências, Workshop sobre Magmatismo Granítico e Mineralizações Associadas*, 1,1 Rio de Janeiro, 1993. B. Res. Expand., Rio de Janeiro, p. 5-8.
- Blum, L.B.** 1999. Processamento e Interpretação de Dados de Geofísica Aérea no Brasil Central e sua Aplicação à Geologia Regional e à Prospecção Mineral.
- Brito Neves B.B.de, Neto M.C.C., Fuck R.A.** 1999. From Rodinia to Western Gondwana: An approach to the Brasiliano-Pan African Cycle and orogenic collage. *Episodes*, 22:155-166.
- Cordell, L., & Grauch, V.J.S.** (1985). Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, W.J. The utility of regional gravity and magnetic anomalies maps: SEG, p. 181-197.
- Dardenne M.A.** 2000. The Brasília Fold Belt. In: U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Thomaz Filho, D.A. Campos (eds.), *Tectonic Evolution of South America, Brazil 2000*, 31th Intern. Geological Congress, Rio de Janeiro, p.231-263.
- Dardenne & Botelho,** 2014. Metalogênese das Províncias Tectônicas Brasileiras. *Metalogênese da Zona Externa da Faixa Brasília* p.431.
- Dardenne M.A. & Schobbenhaus C.** 2001. *Metalogênese do Brasil*, Editora UnB, Brasília, 392p.
- Feininger, T., J. J. Dantas, and V. A. V. Girardi** 1991, Gravity interpretation and possible regional significance of the Niquelândia layered basic-ultrabasic complex, Goiás, Brazil, *J. S. Am. Earth Sci.*, 4(4). 343–350.
- Fuck R.A.** 1994. A Faixa e a Compartimentação Tectônica na Província Tocantins. In: *SBG Simpósio de Geologia do Centro-oeste*, 4. Brasília. Anais, 1:184-187.
- Fuck R.A., Pimental M.M., Soares J.E.P., Dantas E.L.** 2005. *Compartimentação da Faixa Brasília*. In: *SBG, IX Simpósio de Geologia do Centro-Oeste*, Atas, pp.26-27.
- Hall, D.H.**, 1974. Long wavelength aeromagnetic anomalies and deep magnetization in Manitoba and northeastern Ontario, Canada. *J. Geophys. Res.* 40, 403e430.
- Hasui, Y.** 2012. Capítulo 14a: Sistema Orogênico Tocantins. In: Hasui, Y.; Carneiro C. D. R.; Almeida F. F. M.; Bartorelli, A. (Orgs) *Geologia do Brasil - São Paulo: Beca*, 2012, 900p.
- João Willy Corrêa Rosa, José Wilson Corrêa Rosa, Reinhardt A. Fuck,** 2011. Crust and upper mantle structure in central Brazil derived by receiver functions and SKS splitting analysis.
- Kearey, Philip; Brooks, Michael; Hill, Ian;** *Geofísica de Exploração - tradução: Maria Cristina Moreira Coelho. Sao Paulo: Oficina de Textos*, 2009.
- Krutikowskaya, Z.A., Pashewich, I.-K.**, 1979. Long wavelength magnetic anomalies as a source of information about deep crustal structure. *J. Geophys.* 46, 301e317.
- Li, X.** (2006). Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics*, v. 71(2), p. 13-16.
- Marangoni, Y. R., M. Assumpção, and E. P. Fernandes** 1995, *Gravimetria em Goiás, Brasil, Rev. Brasil. Geofís.*, 13(3), 205–219
- Nabighian, M.N.** (1972). The analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, v. 37, p. 507-517
- Mantovani, M. S. M.; Rugenski, A.; Diogo, L. A.; Shukowsky, W.** Integrated Geophysical Investigation of a possible new alkaline occurrence in SE Brazil. *Journal South American Earth Sciences*, v. 20, p. 259-266, 2005.
- Mastellone D.; Fedi M., Ialongo S., Paoletti V.,** 2013. Volume upward continuation of potential fields from the minimum-length solution: an optimal tool for continuation through general surfaces. *Journal of Applied Geophysics*, 111, 346–355
- Maus, S.; Barckhausen, U.; Berkenbosch, H.; Bournas, N.; Brozina, J.; Childers, V.; Dostaler, F.; Fairhead, J. D.; Finn, C.; von Frese, R. R. B.; Gaina, C.; Golynsky, S.; Kucks, R.; Lühr, H.; Milligan, P.; Mogren, D.S.; Müller, O.; Olesen, M.; Pilkington, R.; Saltus, B.; Schreckenberger, E.; Thébaud, and F. Caratori Tontini** (2009), EMAG2: A 2-arc-minute resolution Earth Magnetic Anomaly Grid compiled from satellite, airborne and marine magnetic measurements, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, under review.
- Maus, S., Sazonova, T., Hemant, K., Fairhead, J.D., Ravat, D.,** 2007. National Geophysical Data Center candidate for the world digital magnetic anomaly map. *Geochem. Geophys. Geosyst.* 8. doi:10.1029/2007GC001643.
- Melo.** 2006. Razão de Poisson da Crosta Superior da Região de Porangatu, Goiás, Província Tocantins: Um Estudo por Refração Sísmica. *Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília.*
- Pinto, L.G.R., Ussami, N., Sá, N.C.,** 2007. Aquisição e interpretação de anomalias gravimétricas do Quadrilátero Ferrífero, SE do Cráton São Francisco. *Revista Brasileira de Geofísica*, vol. 25, nº 1, p. 21-30.
- Soares J.E.P.** 2005. Estudos de refração sísmica profunda, função do receptor e gravimetria na Província Tocantins, Brasil central. Tese de doutorado, Universidade de Brasília, 128 pp.
- Spector, A., & Parker, W.** 1979. Computer compilation and interpretation of geophysical data. *Geophysics and Geochemistry in the search for metallic ores. Geological survey Canada, Economic Geology Report*, v. 31, p. 527-544.
- Trindade C.R.** 2013. Espessura Crustal e Razão de Poisson do Brasil Central: uma Aproximação por Função do Receptor. *Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília.*
- Valeriano, C.M., Pimentel, M.M., Heilbron, M., Almeida, J.C.H. & Trouw, R.A.J.** 2008. Tectonic evolution of the Brasília Belt, Central Brazil, and early assembly of Gondwana.