

Modelagem do embasamento da estrutura de impacto de Araguainha - MT/GO

M.A.R. Vasconcelos & E.C. Molina

Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. Departamento de Geofísica, Rua do Matão, 1226, Cidade Universitária, 05508-090, São Paulo, Brasil, vasconcelos@iag.usp.br, eder@iag.usp.br

Abstract About 246 Ma ago (Permian-Triassic), a celeste body impact with Earth surface created the Araguainha crater. Localized between Mato Grosso and Goiás states, it is considered the largest complex impact crater known in South America, with 40 km of diameter. It is formed by an uplift core with 4 km of granitic rocks surrounded by sedimentary rocks of Parana Basin, which represents a shallow sea platform. Meteoritic impacts modify the gravity and the magnetic field at the site, which after the impact shows different signatures compared to the surrounding rocks. It is usual to have negative magnetic anomalies associated to the reduction in the magnetic susceptibility of these rocks. The Araguainha structure shows this kind of signature. The general behavior of the magnetic anomalies associated with an impact crater is more complex than the gravity signature due to the greater variation in the magnetic properties of rocks and the direction of magnetization. Hence, the magnetic modelling must be criterious and, if it is possible, to be associated with a significative number of constraints to obtain a good representative model. This paper presents a magnetic modelling using aeromagnetic data of Alto Garças project in order to obtain the configuration of the deeper structures. As the sedimentary cover is assumed to be non-magnetic, with a very low magnetic susceptibility, the main structure in this model is the basement configuration, that can be later compared with ground acquired magnetic data in the region.

Keywords: Araguainha, impact crater, aeromagnetic data, basement.

INTRODUÇÃO A colisão de corpos celestes é atualmente considerada um fenômeno geológico comum em todo o Sistema Solar e reconhecido como um processo dominante nas fases iniciais da história geológica de muitos corpos planetários, incluindo a Terra (Grieve 1987).

Araguainha é uma cratera complexa, caracterizada por um amplo núcleo soerguido (~10-12km), circundado por uma zona variando de 8-10 km de anéis montanhosos, onde a maior parte dos estratos foi largamente dobrada e falhada durante o impacto (Theilen-Willige 1981).

Nos mapas aeromagnéticos da região observa-se a presença de anomalias negativas coincidentes com a porção central do Domo de Araguainha (Theilen-Willige 1981). Apesar disso, nenhum modelamento desses dados havia sido efetuado até o momento, e uma melhor caracterização dessa estrutura pode ser obtida a partir do modelamento conjunto de dados magnéticos.

Masero *et al.* (1997), por meio de modelagem 2-D e 3-D dos dados magnetotélúricos, descobriram um corpo de formato discóide no interior do granito a profundidades entre 3 e 7 km, caracterizados por valores de resistividade abaixo do valor bruto da crosta superior. Eles relacionam tal anomalia a processos de falhamento e brechação induzidos pelo impacto.

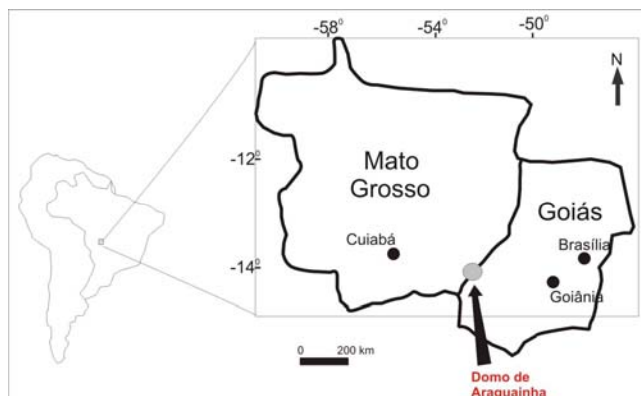


Figura 1. Localização da cratera de impacto de Araguainha

Levantamentos magnetotélúricos foram apresentados em dois trabalhos por Masero *et al.* (1994, 1997). No primeiro trabalho, modelos 1D efetuados a partir das componentes de alta frequência sugerem uma profundidade de cerca de 1 km para o embasamento a partir de uma distância de 9 km do centro da estrutura.

Neste trabalho, colima-se abordar a modelagem geofísica realizada para a interface do embasamento de Araguainha a partir de dados aeromagnéticos. Os motivos pelos quais os sedimentos não foram considerados nos modelos aqui apresentados são: (1) O levantamento aeromagnético é mais eficaz para a localização de fontes magnéticas profundas; (2) A

suavização dos dados ocasionada por sua redigitalização pode ter proporcionado perdas consideráveis de anomalias menores relacionadas aos sedimentos; (3) A susceptibilidade dos sedimentos provavelmente é muito menor que a susceptibilidade do embasamento, o que não influenciaria no ajuste dos dados; (4) Para simplificar o modelo já que ainda se carece de informações geofísicas e geológicas da área.

Para tal modelagem, utilizaram-se modelos de estrutura de outras crateras de impacto conhecidas, respeitando a variação aceitável dentro dos limites das propriedades físicas dos materiais geológicos. Isto permitirá estimar com maior precisão diversos parâmetros de interesse na caracterização dessa estrutura, incluindo as dimensões da cavidade transitória.

CONTEXTO GEOLÓGICO A cratera de Araguainha foi formada em sedimentos horizontalizados da Bacia do Paraná (250Ma), na porção central do Brasil (Dietz & French 1973, Engelhardt *et al.* 1992, Hammerschmidt & von Engelhardt 1995, Hippertt & Lana 1998). A bacia do Paraná constitui uma imensa região sedimentar da América do Sul, abrigando dentro de seus limites uma sucessão sedimentar-magmática com idades entre o Neo-Ordoviciano e o Neocretáceo (Milani 2004). Entre 450 Ma e 65 Ma, sucessivos episódios de sedimentação acomodaram seus depósitos no que viria a ser uma bacia de registro policíclico (Milani 2004).

A estrutura de Araguainha é caracterizada por um amplo núcleo soerguido (~10-12km), o qual é circundado por uma zona variando de 8-10 km de anéis montanhosos, onde a maior parte dos estratos foram largamente dobrados e falhados durante o impacto (Theilen-Willige 1981). A parte central do núcleo soerguido consiste de uma zona de 4km de largura contendo rochas graníticas do embasamento, de granulometria fina a grosseira. Essa zona, por sua vez, é envolta por um colar de 3-4 km de largura compreendendo arenitos, siltitos e argilitos do Grupo Paraná (Bischoff & Prinz 1994). As rochas expostas em torno do núcleo compreendem as formações Paleozóicas Furnas, Ponta Grossa, Aquidauana e Estrada Nova dispostas de forma anelar ao redor do núcleo da estrutura, sendo que a primeira apresenta camadas com alto ângulo de mergulho chegando a 90°. Os sedimentos Permianos do Grupo Passa-Dois são predominantemente preservados em falhas normais anelares e definem o anel externo, no limite da estrutura (Lana *et al.* 2006).

A borda externa do Domo de Araguainha é constituída por cristas, representando os remanescentes de grábens semi-circulares, formados

por falhas anelares de colapso que mergulham em direção ao centro da estrutura e alojam os sedimentos acima.

O mapa geológico da região elaborado pela Prospec S.A. (1971) é mostrado na Fig. 2.

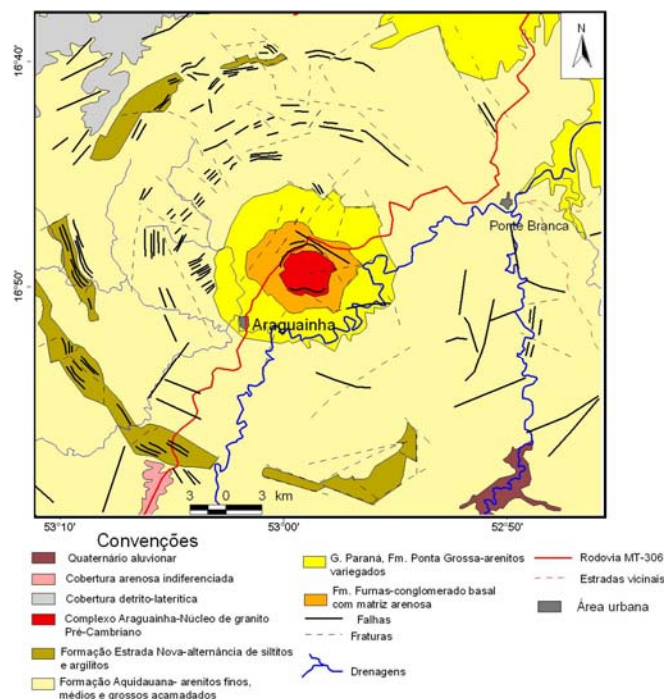


Figura 2. Mapa Geológico da cratera de Araguainha Prospec S.A. (1971)

BASE DE DADOS A base de dados aeromagnéticos que subsidiou o projeto da área estudada provém do levantamento denominado Projeto Alto Garças (Prospec S.A. 1971). O Projeto engloba uma área total de 30.000 km², com linhas de direção N-S espaçadas de 1 km e 120m de altura do voo. A cena cedida pela CNEN é limitada pelas coordenadas geográficas 16°30' S/53°24' W e 17°00' S / 52° 45' W, em escala 1:500.000. Segundo a CPRM, esses dados teriam sido digitalizados devido à perda da fita magnética original (<http://www.cprm.gov.br/aero/2000>), o que provavelmente gerou uma pequena perda de sinal das componentes de maior frequência do campo magnético, podendo ser percebido pela análise das anomalias observadas, que mostram um comportamento mais suave do que o normalmente observado nesse tipo de dados na região de estudo.

PRÉ-PROCESSAMENTO DOS DADOS Nessa etapa a malha dos dados foi regularizada por meio do método da mínima curvatura obtendo-se o mapa de campo total. A partir desse removeu-se a componente magnética prevista pelo modelo geomagnético fornecido pelo Observatório Nacional e dos dados residuais foram subtraídos os valores de uma

superfície média que ajustasse as feições de longo comprimento do campo magnético local. Esse procedimento resultou no mapa de campo magnético residual (Fig. 3).

Os dados foram continuados para baixo com a finalidade de se obter um modelo que pudesse ser posteriormente melhorado com a aquisição de dados terrestres já iniciada na região. Apesar desse procedimento não haver fornecido informações relevantes aos dados (Fig. 4), optou-se modelar com os dados continuados.

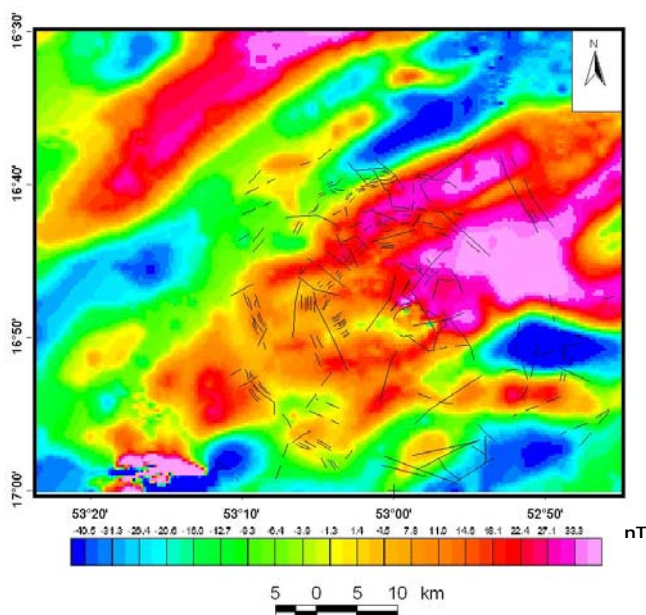


Figura 3. Mapa de campo magnético residual com localização da cratera de Araguinha marcada por falhas e fraturas

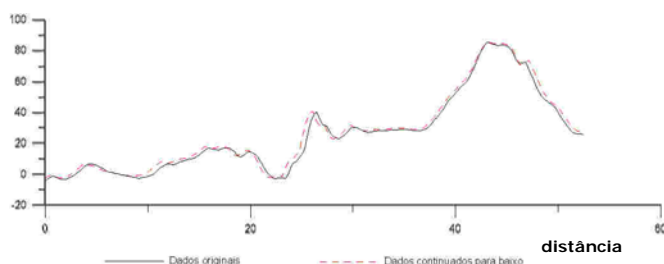


Figura 4. Gráfico comparativo (nT versus distância) entre dados residuais originais com dados continuados 120 metros para baixo

MODELAGEM Nessa etapa de processamento trabalhou-se com a modelagem direta bidimensional. Os valores de inclinação, declinação e campo geomagnético adotados foram -9, -12 45' e 28000nT, respectivamente. Inicialmente considerou-se o embasamento granítico como um corpo homogêneo com susceptibilidade de 0,015.

Foram extraídos dados de 3 seções ao longo da estrutura da cratera para a modelagem, denominadas L₁, L₂ e L₃ (Fig. 5).

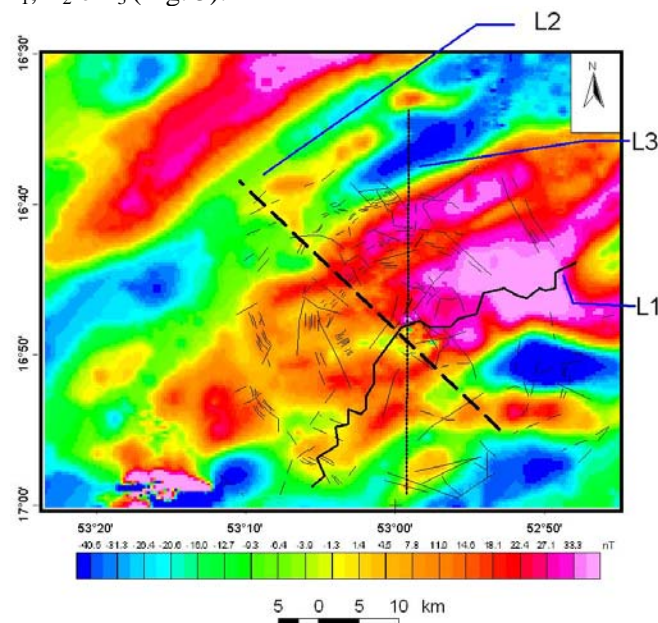


Figura 5. Localização das linhas ao longo das quais os dados foram modelados

L₁ é uma linha de direção geral NE-SW e o resultado da modelagem de seus dados podem ser visto na Fig. 6. Nota-se a presença de uma anomalia positiva forte na porção NE dos dados observados. Essa marcante feição provavelmente está relacionada a uma componente magnética proveniente do embasamento da Faixa Paraguai. Como não se tem controle da ordem de grandeza dessa anomalia, os dados calculados acabam por não se ajustar bem aos dados observados.

L₂ é uma linha de direção NW-SE que passa sobre o núcleo granítico soerguido. Ao se tentar ajustar esses dados, observou-se que não sugeriam bons resultados para a região central do núcleo soerguido.

Portanto, optou-se por acrescentar mais dois polígonos com susceptibilidades diferentes e menores (0,0005 para o corpo 2 e 0,0001 para o corpo 3) em relação à porção inferior do embasamento. Após essa consideração de heterogeneidade, obteve-se o ajuste para os dados calculados que pode ser visto na Fig. 7.

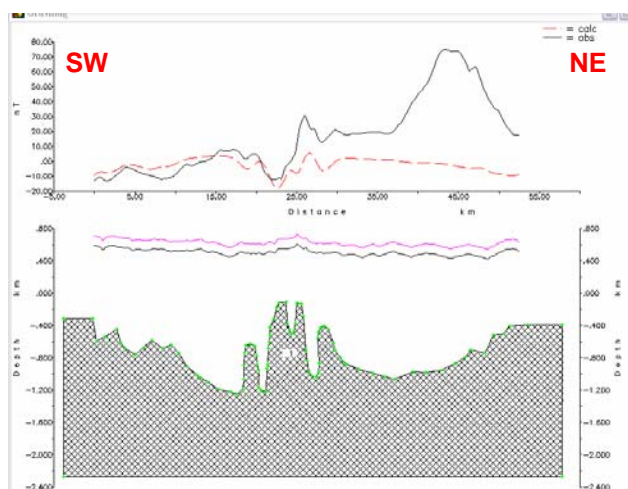


Figura 6. Resultado da modelagem da L_1 NE-SW para a interface do embasamento após correção regional dos dados. A linha contínua refere-se aos dados observados e a tracejada vermelha aos dados calculados

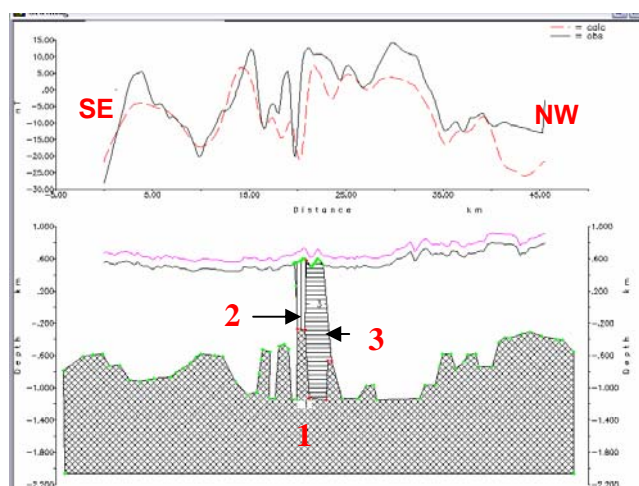


Figura 7. Resultado da modelagem da Linha 2 de direção NW-SE sem correção da componente regional. O par de linhas sinuosas acima do núcleo refere-se ao relevo topográfico

Esse modelo assemelha-se muito ao modelo anterior, contudo, por esse sectionar exatamente sobre o corpo granítico, o ajuste só foi possível considerando o corpo aflorante, como é de fato.

A Fig. 8 mostra o resultado da modelagem para linha L_3 , que passa sobre o núcleo soerguido, com direção N-S. Para um melhor ajuste dos dados na região central que mostra assinatura magnética negativa, permaneceu-se com os dois polígonos adicionados no modelo anterior.

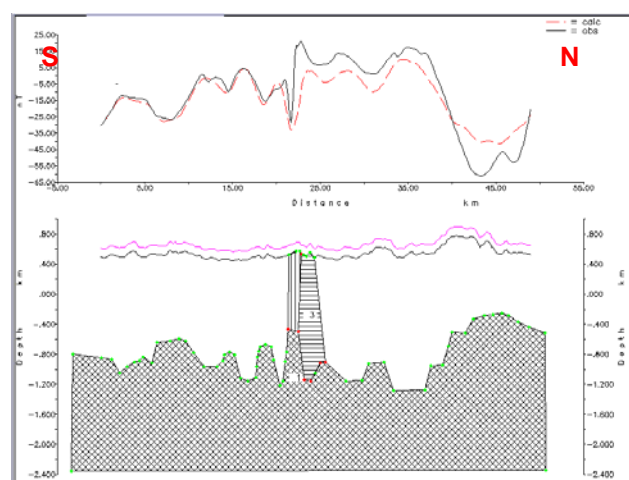


Figura 8. Resultado da modelagem da L_3 Norte-Sul

INTERPRETAÇÕES A partir dos dados geofísicos ajustados para as três linhas elaboraram-se modelos geológicos aproximados para cada uma. Eles se mostraram semelhantes aos modelos geológicos gerais de outras crateras de impacto complexas do mundo (Figs. 9, 10 e 11).

O Modelo 1 (Fig. 9) revela o núcleo central soerguido não aflorante nessa porção, o que está coerente, já que L_1 não sectiona a porção do embasamento aflorante. Nota-se que provavelmente o soerguimento foi ajustado por falhas verticais que truncam toda essa porção.

Pode-se perceber que para um melhor ajuste da porção do núcleo deve-se considerar um soerguimento heterogêneo em sua cinemática, acarretando em regiões mais elevadas e outras rebaixadas.

Nos três modelos constata-se que o ajuste das pequenas anomalias magnéticas só se tornou possível com a inserção de falhas de colapso gravitacional de médio a grande porte que ocorrem nas regiões de bordas de crateras complexas. A necessidade da existência dessas falhas sugere um embasamento extremamente acidentado com alto grau de complexidade.

Todos os modelos relevam uma profundidade próxima a 1km para a interface do embasamento/sedimento. Outra observação importante é o fato de que nos modelos das Figs. 10 e 11 a borda norte do embasamento mostra-se mais soerguida em relação à borda sul. Além disto, os modelos das Figs. 10 e 11 mostram um soerguimento máximo de aproximadamente 1km para a região do núcleo.

Os modelos também mostram aproximadamente 10 km de dimensão para a cavidade transitória.

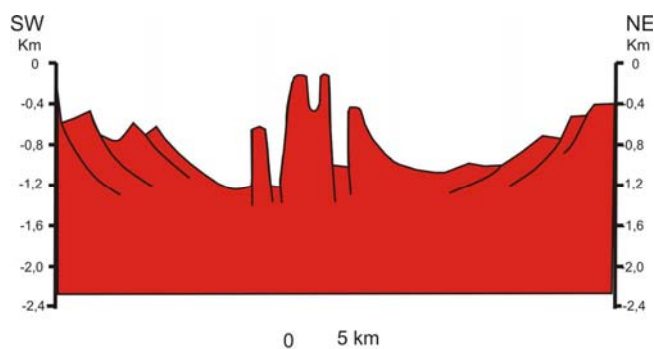


Figura 9. Modelo geológico confeccionado a partir dos dados modelados da linha L₁

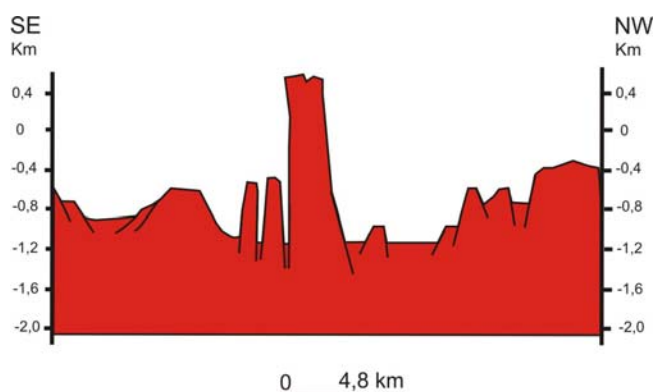


Figura 10. Modelo geológico confeccionado a partir dos dados modelados da linha L₂

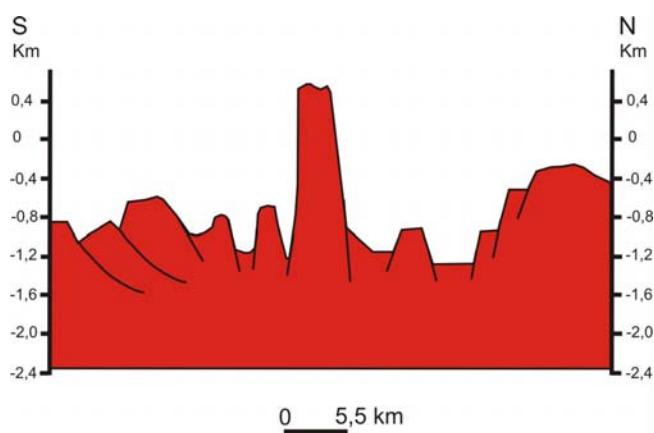


Figura 11. Modelo geológico confeccionado a partir dos dados modelados da linha L₃

CONCLUSÕES O método mostrou resultados satisfatórios no ajuste dos dados calculados, o que favoreceu a elaboração de modelos geológicos possivelmente mais coerentes com a realidade.

O método é eficaz e corrobora as informações fornecidas por Masero *et al.* (1994, 1997), de que o embasamento possui uma interface com profundidade média de 1km.

Os modelos das Figs. 10 e 11 também mostram que na região sul da cratera o soerguimento provavelmente foi maior em relação ao soerguimento da região norte. Esse fenômeno pode estar estreitamente relacionado ao fato de que as bordas da cratera são mal expostas na porção sul, associado aos processos erosivos.

Os modelos indicam que a cavidade transitória possui dimensões aproximadas de 10 km.

Todos os modelos foram relativamente bem ajustados, entretanto, os dados observados do primeiro apresentam um alto magnético desconhecido que pode estar relacionado ao embasamento da Faixa Paraguai. Ressalta-se que esses ajustes podem ser melhorados a partir da posterior inserção de dados reais de susceptibilidade e inclinação e declinação magnética remanescentes.

A redigitalização dos dados que resultou em sua suavização pode ter provocado perda de dados de alta frequência, impedindo de se fazer uma modelagem mais minuciosa. Pretende-se diminuir esse problema com a associação de dados magnéticos terrestres já coletados na região, que estão em fase de processamento.

Agradecimentos À DIMAP-CNEM pela cessão do banco de dados e autorização para publicação dos resultados, à FAPESP, processo N° 055-51530-3, pelo financiamento à pesquisa e à Yára Regina Marangoni pelas discussões e auxílio durante a realização deste trabalho.

Referências

- BISCHOFF L. & PRINZ T. 1994. Der Araguinha Krater (Brasilien): Das geologische Bild einer großen Impaktstruktur nach Geländebefunden und Satellitenbildanalyse. *Die Geowissenschaften*, **12**:5-14.
- DIETZ R.S. & FRENCH B.M. 1973. Two probable astroles in Brazil. *Nature*, **244**:561-562.
- ENGELHARDT W. VON, MATTHÄI S.K. & WALZBUCK J. 1992. Araguinha impact crater, Brazil. 1. The interior part of the uplift. *Meteoritics*, **27**:442-457.
- GRIEVE R.A.F. & PESONEN L.J. 1996. Terrestrial impact craters: Their spatial and temporal distribution and impacting bodies. *Earth Moon and Planets*, **72**(1-3):357-376.
- HAMMERSCHMIDT K. & ENGELHARDT W. VON 1995. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating of the Araguinha impact structure, Mato Grosso, Brazil. *Meteoritics*, **30**:227-233.
- HIPPERT J. & LANA C. 1998. Aerial crystallization of hematite in impact bombs from the Araguinha astroleme, Mato Grosso, central Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, **33**:1303-1309.



- LANA C., ROMAN R., REIMOLD U.W.E., HIPPERTT J. 2006. Collapse of large complex impact craters: Implications from the Araguinha impact structure, central Brazil. *Geology*, January 2006; **34**(1):9-12.
- MASERO W., FISCHER G. & SCHNEGG PA. 1997. Electrical conductivity and crustal deformation from magnetotelluric results in the region of the Araguinha impact, Brazil. *Phys. Earth Planet. Inter.*, **101**:271-289.
- MASERO W., SCHNEGG P.A. & FONTES S.L. 1994. A magnetotelluric investigation of the Araguinha impact structure in Mato Grosso-Goiás, central Brazil. *Geophys. J. Int.*, **116**:366-376.
- MILANI E.J. in: MANTESSO V. *et. al. Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. Cap.XVI: p. 266-280. São Paulo/2004.
- PROSPEC S.A. "Projeto Alto Garças: Levantamento Aerogeofísico", Ministério das Minas e Energia, Comissão Nacional de Energia Nuclear-CNEN, Departamento Nacional de Produção Mineral-DNPM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM, convênio CNEN/DNPM/CPRM, *Relatório Final*, Rio de Janeiro, 1972.<http://www.cprm.gov.br/aero/2000>
- THEILEN-WILLIGE B. 1981. The Araguinha impact structure, Central Brazil. *Rev. Bras. Geociências*, **11**:91-97.