

# Investigação geofísica da cratera de Colônia

MIURA, G.C.M. [1]\*; SANTOS, R.P.Z. [1]; MARANGONI, Y.R. [1]

[1] Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo  
Rua do Matão, 1226 - 05508-090 São Paulo, SP, Brasil.



Copyright 2015, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 14<sup>th</sup> 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.

This paper was prepared for presentation during the 14<sup>th</sup> International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 3-6, 2015.

## Abstract

The Colônia Crater is a circular structure, about 3.6km in diameter, located in south of São Paulo city. The structure was developed upon a crystalline basement rock filled with neogenic and quaternary sediments. The assumptions made until now to explain the nature of the Colônia Crater is a result from the impact of a celestial body dated between 36.4My and 5.2My.

The objective of the present study is to understand the geophysical characteristics of the target based on analysis of the aeromagnetic, radiometric and gravimetric data from the Colônia Crater region. For future works we intend to do seismic, geoelectric and TDEM surveys in order to better characterize the Colônia Crater.

In literature we found geophysical studies showing maximum depths for the structure in approximately 400m deep, however on the present study we found depths of 212m based on the direct model developed with GravMag1.0. The magnetic data shows that the signature of the Colônia Crater is placed within the high regional magnetic signature, thus it was difficult to extract relevant information. On the other hand the radiometric shows good correlation with the geologic features, low rates of potassium and thorium due to the organic-rich sediments.

## Introdução

No sul da cidade de São Paulo, cerca de 35 km do marco zero (fig. 1), encontra-se uma estrutura circular de aproximadamente 3,6 km de diâmetro. Esta estrutura, conhecida como Cratera de Colônia, tem sua origem atribuída ao impacto de um corpo celeste (meteorito ou cometa), mesmo não havendo evidências diretas do choque até o presente momento. Segundo o Planetary and Space Science Centre (PASSC, 2011) cerca de 200 estruturas ao redor do globo são reconhecidas como astroblemas, sendo cinco destas no Brasil.

Diversas estruturas tidas como possíveis astroblemas foram estudadas por métodos gravimétricos, e apresentam como principal característica, anomalias gravimétricas negativas circulares, geralmente expressivas. Esse tipo de assinatura gravimétrica é atribuída ao preenchimento sedimentar, quando este ocorre, e também a brechiação e fraturamento de rochas durante o impacto. Kollert *et al.* (1961) mapeou uma anomalia gravimétrica de cerca de -18,0mGal no centro geométrico da depressão de Colônia. Mota (1992) modelou gravimetricamente a cratera de Colônia encontrando profundidades máximas de 400m.

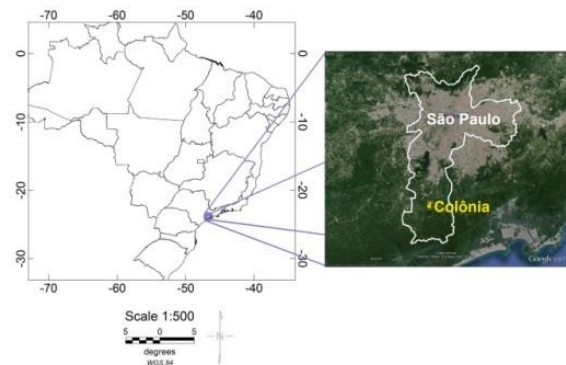


Figura 1. Localização da Cratera de Colônia com relação à cidade de São Paulo.

O presente trabalho visa apresentar um modelo da estrutura de Colônia a partir dos dados de levantamentos gravimétricos realizado em 1992 por Mota e em 2014 pelo IAG- USP e relacionar esse modelo com a assinatura magnética e radiométrica da região a geologia.

## Área de Estudo

A estrutura de Colônia corresponde a uma planície aluvial pantanosa, circundada por relevo colinoso, que atinge até 125m de altitude em relação ao centro (fig. 2) (Riccomini *et al.*, 1991). Encontra-se nas proximidades da borda sudeste do Planalto Paulistano e esta alocada sobre rochas do Cinturão de Dobramentos Ribeira (Hasui *et al.*, 1975), que é constituído por rochas metamórficas do Ciclo Transamazônico, remobilizadas durante o Ciclo Brasileiro. O Cinturão de Dobramentos Ribeira é interpretado como uma zona de convergência litosférica, recortado por uma trama de zonas de cisalhamento transcorrentes, com direções EW-ENE (Sadowski & Campanha, 2004)

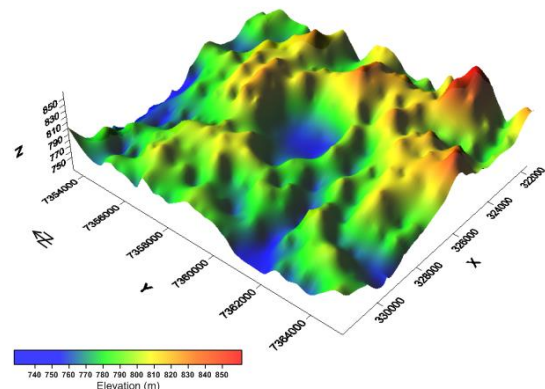
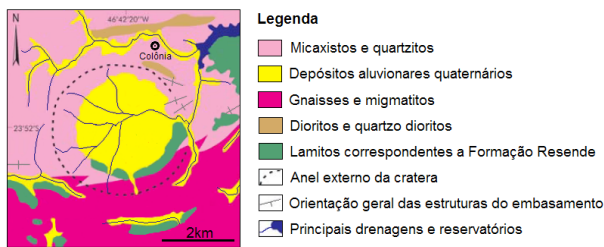


Figura 2. Modelo 3D de elevação do terreno da região da Cratera de Colônia, elaborado a partir de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), United States Geological Survey (USGS), 2002.

Os principais litotipos encontrados na região compreendem gnaisses, migmatitos, dioritos, micaxistos, anfibolitos, milonitos, granitos, granodioritos e quartzitos (Sadowski, 1974; Coutinho, 1980) (fig. 3). A sudeste da cratera predominam gnaisses e rochas sedimentares, a noroeste, intrusões graníticas (Kollert *et al.*, 1961), e a sul sedimentos relacionados à Formação Resende (Riccomini *et al.*, 1987). O interior da depressão é preenchido por depósitos coluviais e aluviais neogênicos e quaternários, ricos em matéria orgânica e com significativa quantidade de água, tratando-se de uma região de pântano (Riccomini *et al.*, 1992). A drenagem no interior da cratera foi endorreica até recentemente, existindo atualmente na parte leste uma única saída, rumo a Represa Billings (Riccomini *et al.*, 2005).



**Figura 3.** Mapa geológico simplificado da área da Cratera de Colônia (extraído de Riccomini *et al.* 2005).

A partir de 1960 diversos estudos foram realizados na região em virtude das singularidades da estrutura. Kollert *et al.* (1961), baseado em argumentos morfológicos, propôs que a cratera teve origem por dissolução de rochas calcárias ou por impacto meteorítico. Esta segunda hipótese foi reforçada por Crósta (1982), pois na região não há ocorrência de corpos calcários. As hipóteses de orogenia por padrões construtivos de interferência estrutural, intrusão de corpo magmático, estrutura de criptoexplosão associada à kimberlitos, feição de escorregamento de grande porte do terreno, e dissolução de rochas calcárias foram rejeitadas por Riccomini *et al.* (1991), restando apenas a hipótese de impacto meteorítico, mesmo não havendo evidências diretas que a comprovem. Estudos gravimétricos (Mota & Flexor, 1991; Passos & Shukowsky, 1997), geolétricos (Kollert, 1961), audiomagnetotélúricos (AMT) (Masero & Fontes, 1991) e sísmicos (Neves, 1998; Riccomini, 2011) visaram determinar a profundidade do topo do embasamento e chegaram a resultados que variam de 200 a 450m. Um poço de sondagem para água subterrânea (Mota, 1992), realizado na porção sul da cratera atravessou 263m de sedimentos pelíticos ricos em matéria orgânica.

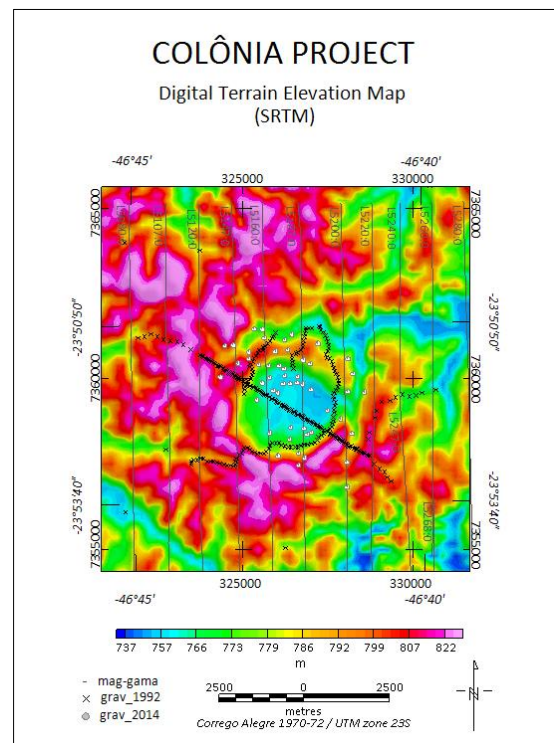
Grieve & Robertson (1979) estabeleceram uma relação entre a idade de formação, o diâmetro e o grau de preservação de astroblemas. Segundo essa relação a estrutura de Colônia possui idade máxima variando entre 36,4Ma e 5,2Ma. (limites Eoceno-Oligoceno e Mioceno-Plioceno respectivamente). A existência de sedimentos de idade provável oligocênica estão em concordância com a idade máxima estimada.

## Metodologia

Mota (1992) realizou levantamento gravimétrico em 280 estações, das quais 116 constituíam um perfil na direção N35W, aproximadamente perpendicular ao trend geológico regional, e as outras 164 foram locadas ao longo de estradas que passam pelo interior e contorno da cratera, e também como extensão não linear do perfil. Em 2014 o IAG-USP mediu mais 51 estações gravimétricas utilizando o gravímetro La Coste & Romberg, com o intuito de melhorar a rede de dados no interior e entorno da cratera.

Dados do aerolevante geofísico Rio-São Paulo da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) foram utilizados no estudo das assinaturas magnéticas e gamaespectrométricas da região.

A rede de estações gravimétricas da região e também as linhas de aerolevante geofísico utilizadas nesse trabalho estão dispostas no mapa apresentado na figura 4.



**Figura 4.** Mapa digital de elevação do terreno, elaborado a partir de dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), United States Geological Survey (USGS), 2002. Com destaque para a rede de estações gravimétricas e linhas de aerolevante geofísico.

Tanto os dados das estações gravimétricas, quanto os de aerolevante geofísico foram processados utilizando o Software Oasis Montaj (Geosoft, 2014). O modelo gravimétrico direto foi gerado no software GravMag 1.0 (Univ. of Colorado, 2003), e o modelo inverso no UBC Grav3D (EOS-UBC, 2007)

## Resultados

Os dados magnéticos do aerolevante geofísico foram reprocessados. O nivelamento das linhas de voo se fez necessário, e posteriormente foi aplicado um procedimento de micronivelamento para remoção de ruídos remanescentes. O campo magnético (fig. 5) não apresenta uma feição significativa com relação à estrutura de Colônia, que parece estar inserida num alto magnético de escala regional.

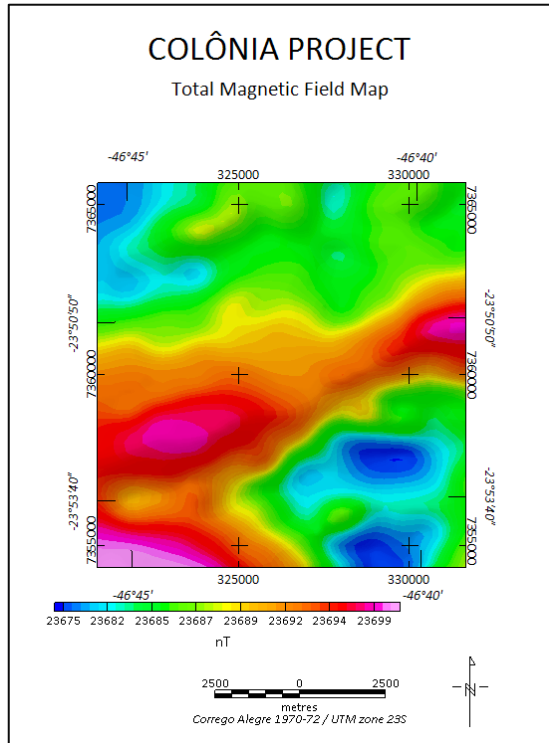


Figura 5. Mapa do campo magnético total.

O potássio é susceptível ao intemperismo e facilmente lixiviado em regiões de clima tropical. Já o tório é um radioelemento mais estável e sua concentração em produtos do intemperismo tende a ser parecida com a da rocha fonte. As baixas contagem de K e Th (figuras 6 e 7, respectivamente) parecem estar em concordância com a geologia, uma vez que não são esperados valores significativos desses radioelementos no tipo de sedimento encontrado no interior da cratera.

A noroeste da cratera ocorrem altas contagens de Th e U (figuras 7 e 8, respectivamente) que podem estar associadas a rochas vulcânicas intermediárias e máficas (Dickson & Scott, 1997), estando de acordo com as intrusões graníticas relatadas por Kollert *et al.* (1961) para aquela região.

No mapa ternário (fig. 9) a baixa contagem dos três radioelementos fica evidenciada pela região aproximadamente circular em preto, coincidente com a localização da cratera, onde ocorrem os sedimentos pelíticos, ricos em matéria orgânica. Também é possível distinguir um lineamento na porção sudoeste do mapa, com direção N30E, que foi correlacionado a depósitos da Formação Resende.

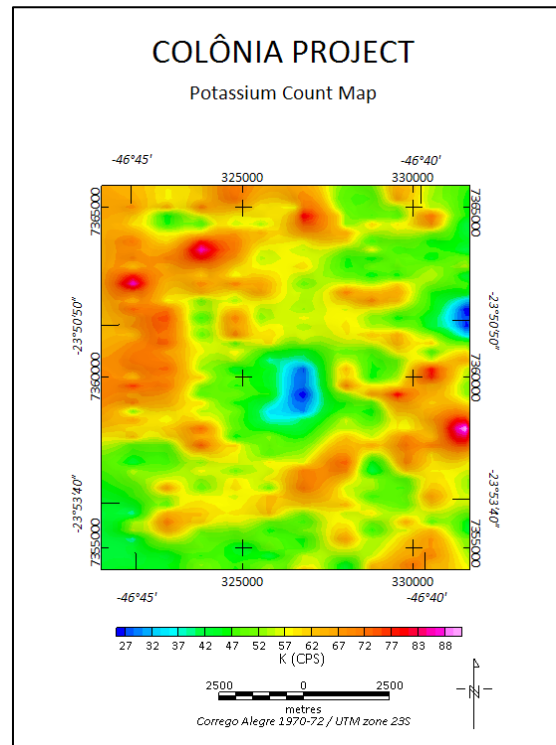


Figura 6. Mapa radiométrico de contagens do canal de Potássio.

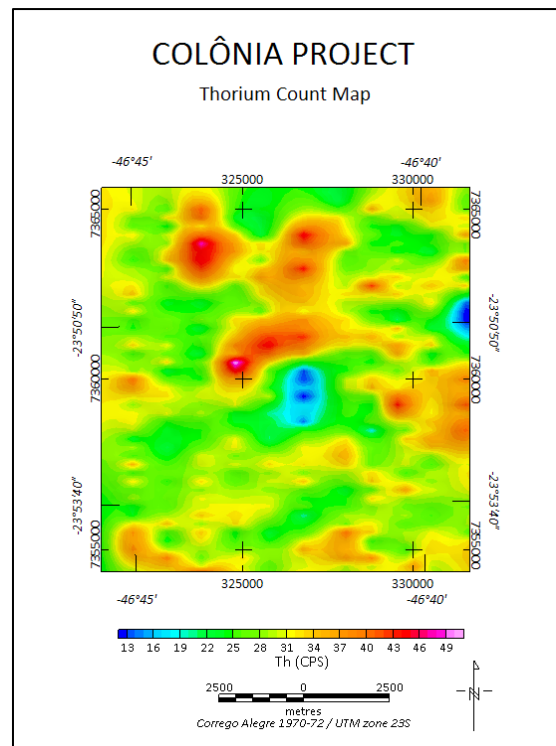


Figura 7. Mapa radiométrico de contagens do canal de Tório.

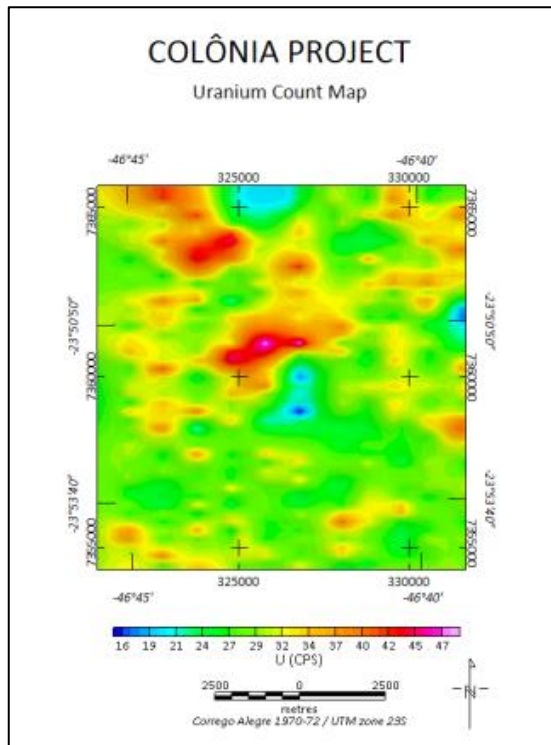


Figura 8. Mapa radiométrico de contagens do canal de Urânio.

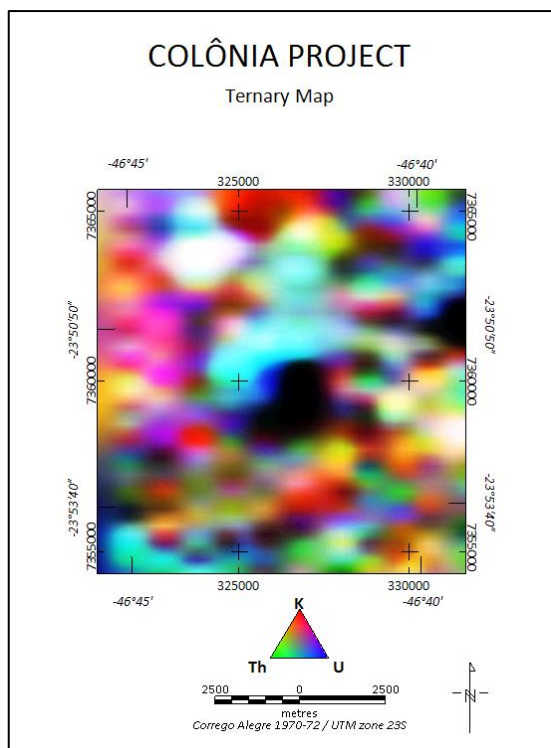


Figura 9. Ternário de Potássio, Urânio e Tório

Com base nos dados gravimétricos disponíveis foi elaborado o mapa de anomalia Bouguer (fig. 10). No mapa Bouguer a região de interesse apresenta um baixo gravimétrico da ordem de 15mGal. Para realçá-lo foi utilizada a técnica de continuação para cima (*upward continuation*) para separar a tendência mais profunda

(regional) da possível resposta mais rasa da cratera (residual), mostrada na figura 11. A altitude que melhor isolou a anomalia gravimétrica associada à cratera de Colônia foi de 3500m. A anomalia Bouguer residual foi utilizada para desenvolver os modelos gravimétricos da cratera.

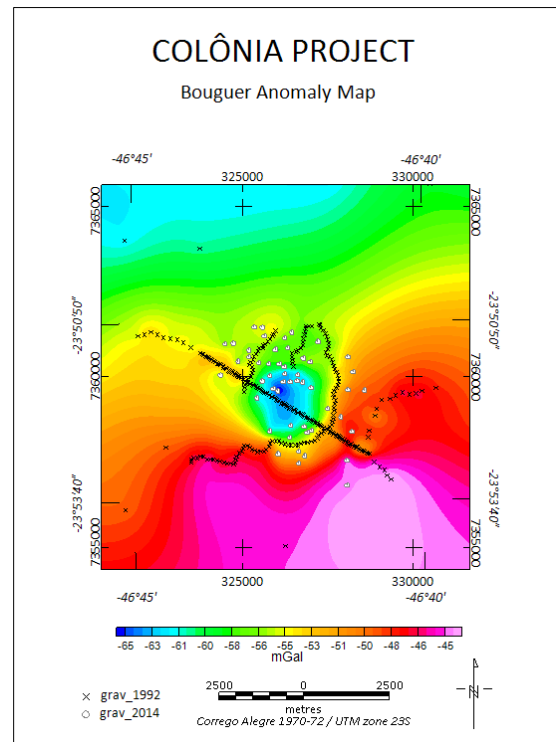


Figura 10. Mapa de anomalia Bouguer com os dados de Mota (1992) e do IAG-USP (2014).

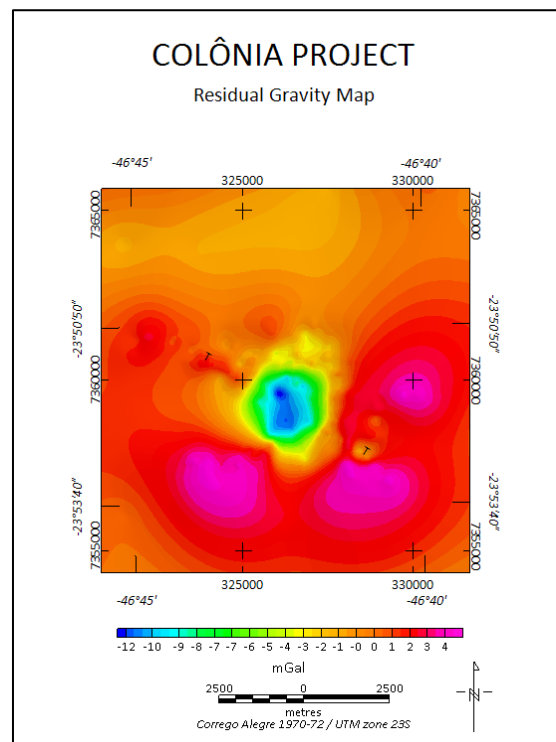
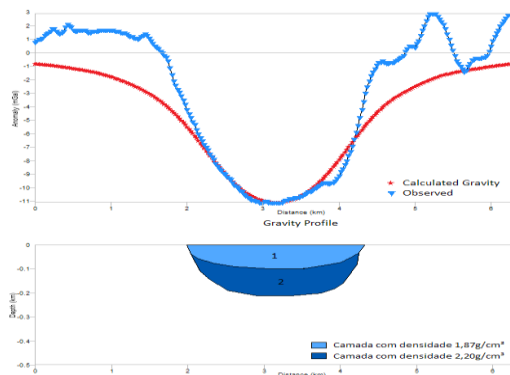


Figura 11. Mapa residual Bouguer. Perfil TT.

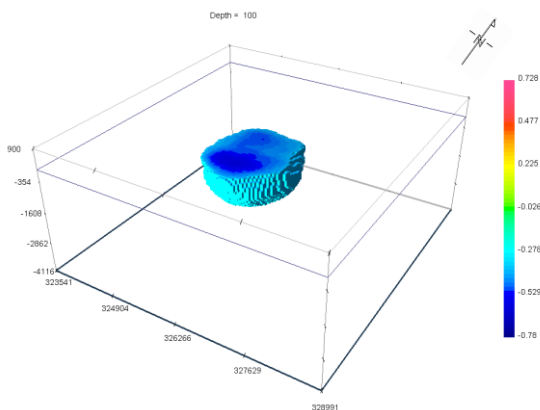
O mapa residual Bouguer (fig. 11) apresenta um negativo da ordem de  $-10\text{mGal}$  indicando uma deficiência de massa, que pode ser a soma da presença de sedimentos, da remoção, brechiação e fraturamento das rochas do embasamento durante o impacto do corpo celeste e da diferença de altitude entre a depressão e a região mais alta do entorno. Mesmo após a remoção do regional observamos uma tendência ao sul da cratera que se acredita estar associada aos gnaisses e migmatitos do Cinturão de Dobramentos Ribeira.

No mapa Bouguer residual foi traçado um perfil TT na direção N35W, coincidente com o perfil realizado por Mota (1992), para modelagem da estrutura de Colônia.

O perfil TT é apresentado em azul na figura 12. O modelo direto, 2D, para explicar a anomalia observada foi calculado com o software GravMag1.0. A densidade das camadas foi escolhida com base na literatura, sendo  $1,87\text{g/cm}^3$  para sedimentos pouco consolidados da porção superior e  $2,20\text{g/cm}^3$  abrangendo sedimentos mais consolidados da base da estrutura, e o embasamento bastante fraturado. No modelo, a cratera corresponde aproximadamente a um semicírculo, de  $2,33\text{km}$  de diâmetro, com profundidade estimada em  $212\text{m}$ .



**Figura 12.** Modelo 2D gravimétrico de duas camadas para a Cratera de Colônia, com comparação entre a anomalia gravimétrica associada ao modelo e a anomalia observada.



**Figura 13.** Modelo 3D gravimétrico em perspectiva *top-down* na profundidade de  $100\text{m}$ .

Para realizar a inversão dos dados gravimétricos foram extraídos 14 perfis de direção NS, com espaçamento de  $400\text{m}$ , a partir do *grid* da anomalia Bouguer residual, totalizando 2998 pontos, em uma mesma janela espacial. A malha (*mesh*) foi elaborada com células de  $50\text{m}$  de largura, e com altitude máxima de  $900\text{m}$ , valor acima da topografia local, para cobrir todos os pontos amostrados.

O modelo gravimétrico obtido pela inversão, apresentado na figura 13, mostra um corpo com densidade média de  $1,93\text{g/cm}^3$ , e profundidade de aproximadamente  $300\text{m}$  no centro da cratera.

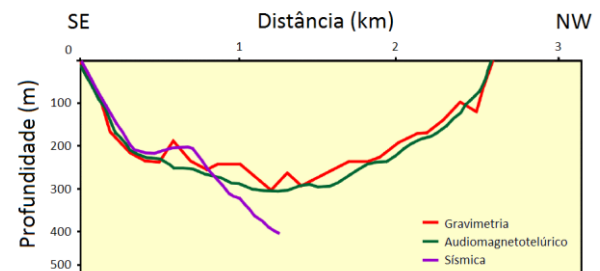
## Conclusões

De maneira geral o presente trabalho apresenta bons resultados como estudo geofísico da Cratera de Colônia no que diz respeito aos mapas e modelos gerados, que apresentam coerência com dados disponíveis sobre a região.

O mapa de anomalia magnética não mostrou nenhuma feição significativa na escala de estudo. Um levantamento terrestre mais detalhado pode ser proveitoso no estudo da área.

A anomalia Bouguer residual não mostra nenhum anel de alto gravimétrico ao redor do baixo, indicando que esta não teria sido uma cratera complexa.

A profundidade encontrada pelo modelo direto condiz com os valores obtidos em estudos anteriores (fig15). O modelo de duas camadas foi escolhido, pois representa melhor a realidade, sendo pouco provável que o material depositado em maiores profundidades na cratera tenha densidade de  $1,87\text{g/cm}^3$ .



**Figura 15.** Diferentes modelos de profundidade da Cratera de Colônia, obtidos por dados geofísicos: gravimetria por Motta & Flexor (1991); audiomagnetotélurico por Masero&Fontes (1991); e sísmica por Neves (1998), (extraído de Riccomini et al.,2005).

O resultado obtido através da modelagem inversa também apresenta valores condizentes com outros autores. Mas apresentou leve discrepância com o modelo direto, possivelmente devido às características de suavização entre as células da rede.

Em continuidade aos estudos geofísicos, estão programados ensaios sísmicos, geolétricos e de TDEM próximos à região central da cratera. Os quais pretendemos posteriormente integrar aos resultados já obtidos permitindo uma interpretação conjunta dos mesmos.

## Agradecimentos

Os autores agradecem a CPRM pela disponibilização dos dados aerogeofísicos. A University of British Columbia e a University of Colorado Boulder por disponibilizarem os softwares Grav3D e GravMag, respectivamente. Aos laboratórios GEOLIT e GEODÉSIA do Departamento de Geofísica do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas pelo financiamento e infraestrutura disponíveis para realização desse trabalho.

## Referências

- COUTINHO, J.M.V. 1980. *Mapa geológico da Grande São Paulo, 1:100.000*. São Paulo. EMPLASA. 2 folhas.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS - CPRM, 1988. *Projeto São Paulo-Rio de Janeiro (Parte I - São Paulo)*, Convênio DNPM/CPRM, Rio de Janeiro, Relatório Final, texto e anexos, v. I – V.
- CRÓSTA, A. P. 1982. *Estruturas de Impacto No Brasil: Uma Síntese do Conhecimento Atual*. Anais do 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, v.1, pp. 1372-1377.
- DICKSON, B.L.; SCOTT, K.M. 1997 Interpretation of aerial gamma-ray surveys-adding the geochemical factors. *Journal of Australian Geology & Geophysics*. v.17, pp187-200.
- GRAV3D. *A Program library for forward modelling and inversion of gravimetric data over 3D Structures, version 3.0*. Developed under the consortium research project Joint/Cooperative Inversion of Geophysical and Geological Data. UBC-Geophysical Inversion Facility, Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, Vancouver, 2007.
- GRAVMAG. *A Program for interactive modelling and interpretation of 2.5D Gravity and Magnetic data, version 1.0*. Field Geophysical Software Suite that accompanies Introduction to Applied Geophysics: Exploring the Shallow Subsurface. Developed by Burger, H.R.; Sheehan, A.F.; Jones, C.H., University of Colorado Boulder, 2003.
- GRIEVE, R.A.F.; ROBERTSON, P.B. 1979. *The terrestrial cratering record*. Current status of observation. *Icarus*, v. 38, pp. 496-518.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. 1975. *The Ribeira Folded Belt*. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 5, pp. 257-266.
- KOLLERT, R.; BJÖRNBERG, A.; DAVINO, A. 1961. *Estudos preliminares de uma depressão circular na região de Colônia: Sto. Amaro, São Paulo*. Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia. v.10, pp. 57-77.
- MASERO, W.C.B.; FONTES, S.L. 1991. *Audiomagnetotelluric investigation of the Colônia Depression, São Paulo - Brazil*. Anais do 2º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Salvador. v.1, pp.317-322.
- MOTA, U.S.; FLEXOR, J.M. 1991. *Estudo gravimétrico da Depressão Circular de Colônia, São Paulo, Brasil*. Anais do 2º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, Salvador. v.1, pp.140-142.
- MOTA U.S. 1992. *Estudo gravimétrico da depressão circular de Colônia - SP*. Tese de Mestrado pelo Observatório Nacional, Rio de Janeiro. 89 p.
- NEVES, F. A. 1998. *Estudo da depressão circular de Colônia, SP, pelo método sísmico*. *Revista Brasileira de Geociências* v.28, pp.3-10.
- PASSC - Planetary and Space Science Centre, 2011. *Earth Impact Database*. Disponível em: <http://www.passc.net/EarthImpactDatabase/>. Acesso: 18 de fevereiro de 2015.
- PASSOS, G.F.; SHUKOWSKY, W. 1997. *Inversão gravimétrica 3D para superfície entre dois meios homogêneos com aplicação à depressão circular de Colônia (São Paulo/SP)*. Anais do 5º Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, São Paulo. v.2, pp. 727-729.
- RICCOMINI, C.; APPI, C. J.; FREITAS, E. L.; ARAI, M. 1987. *Tectônica e Sedimentação no Sistema de Rifts Continentais da Serra do Mar (bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo)*. Anais do 1º Simpósio de Geologia Rio de Janeiro-Espírito Santo, v.1, pp. 252-258.
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B.J.; MARTIN, L.; MOREIRA, M.Z.; LORSCHTEITNER, M.L. 1991. *The Colônia Astrobleme, Brazil*. *Revista do Instituto Geológico*, v.12, pp.87-94.
- RICCOMINI, C.; NEVES, F.A.P.S.; TURCQ, B.J. 1992. *Astroblema de Colônia (São Paulo, Brasil): estágio atual de conhecimento*. In: Roteiros das Excursões, Núcleo São Paulo, SBG. Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, v.3, pp.1-14.
- RICCOMINI, C.; TURCQ, B.J.; LEDRU, M.P.; SANT'ANNA, L.G.; FERRARI, J.A. 2005. *Cratera de Colônia, SP - Provável astroblema com registros do paleoclima quaternário na Grande São Paulo*. In: *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil - 116*. Disponível em: <http://sigep.cprm.gov.br/sitio116/sitio116.pdf>
- RICCOMINI, C.; CRÓSTA, A.P.; PRADO, R.L.; LEDRU, M.P.; TURCQ B.J.; SANT'ANNA, L.G.; FERRARI, J.A.; REIMOLD, W.U. 2011. *The Colônia Structure, São Paulo, Brazil*. *Meteoritics & Planetary Science*, v.46, pp.1630-1639.
- SADOWSKI, G.R. 1974. *Tectônica da Serra de Cubatão, SP*. Tese de Doutorado pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo. 159p.
- SADOWSKI, G.R.; CAMPANHA, G.A.C. 2004. *Grandes Falhas no Brasil Continental*. In: *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo. pp. 407-421.