



Assinatura gravimétrica e magnética das estruturas de impacto de Vargeão e Vista Alegre, Brasil

Júlio César Ferreira*, Emilson Pereira Leite e Marcos Alberto Rodrigues Vasconcelos – Universidade Estadual de Campinas

Copyright 2013, SBGf - Sociedade Brasileira de Geofísica

This paper was prepared for presentation during the 13th International Congress of the Brazilian Geophysical Society held in Rio de Janeiro, Brazil, August 26-29, 2013.

Contents of this paper were reviewed by the Technical Committee of the 13th 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 paper shows ground gravity and magnetic data of the basaltic impact structures of Vargeão and Vista Alegre in the Paraná Basin, southwestern Brazil. Our main objective is to determine the gravity and magnetic signatures of both impact structures. We seek to identify their lateral extension, as well as their main internal structures. For this, we conducted a geophysical survey with average spacing of 200 meters between measurement points covering both study areas more uniform as possible. It was possible to identify a circular low gravity anomaly for both impact structures and the observation of a low anomalous magnetic field within the structures. The central Vargeão Bouguer anomaly has a peak that is ~ -2.8 mGal lower than that of Vista Alegre and a circular positive anomaly is well defined around the center. The spatial distribution of magnetic anomalies of the Vargeão structure is more uniform and generally more intense compared to those of Vista Alegre.

Introdução

Uma estrutura de impacto é formada quando um projétil extraterrestre, penetra na atmosfera da Terra com baixa desaceleração, atingindo a superfície com altas velocidades. O choque e as ondas provenientes deste formam as crateras de impacto (French, 1998).

Um impacto meteorítico induz mudanças nas propriedades físicas das rochas. Essas alterações podem ser investigadas a partir da definição das suas assinaturas gravimétricas e magnéticas e do mapeamento das distribuições espaciais de densidade e magnetização em subsuperfície.

As estruturas de impacto de Vargeão e Vista Alegre, localizadas no sul do Brasil, tiveram como alvo do impacto rochas basálticas da Formação de Serra Geral dentro da bacia do Paraná (Figura 1). Essas estruturas constituem um grupo raro de impacto sobre este tipo de alvo na Terra. Assim, seu estudo detalhado contribui para um melhor entendimento de crateras com o mesmo alvo na Terra, na Lua ou em outros planetas rochosos (Koeberl, 2001).

Nas últimas décadas, os métodos gravimétrico e magnetométrico têm se tornado importantes ferramentas no estudo primário e detalhado de estruturas de impacto.

Esses métodos ocupam um lugar de destaque no estudo da deformação dos estratos provocada por impacto (Pilkington & Grive 1992).

Com o advento de equipamentos geofísicos de alta resolução (gravímetros digitais e magnetômetros de vapor de césio), dados mais precisos podem ser obtidos e utilizados para caracterização detalhada de estruturas de impacto. Os dados geofísicos complementam a análise geológica realizada nas etapas iniciais do estudo de crateras, uma vez que permitem a delimitação das estruturas tanto em superfície quanto em profundidade.

Esse trabalho tem por objetivo apresentar as assinaturas gravimétrica e magnética das estruturas de impacto de Vargeão e Vista Alegre, com base em dados de levantamento terrestre adquiridos pelo grupo da Universidade Estadual de Campinas nos anos de 2012 e 2013.

Geologia Regional

A estrutura de Vargeão com diâmetro de ~ 12 km tem seu centro definido nas coordenadas $26^{\circ}49'S$ e $52^{\circ}10'W$ no município de Vargeão-SC. Cerca de 100 km a sudeste, localiza-se a estrutura de Vista Alegre, no município de Coronel Vivida-PR, com aproximadamente 9,5 km de diâmetro e centro definido nas coordenadas $25^{\circ}57'S$ e $52^{\circ}41'W$ (Figura 1).

O contexto geológico regional onde se inserem as estruturas de Vargeão e Vista Alegre é o das seqüências vulcano-sedimentares que constituem a bacia do Paraná. As rochas na região das crateras pertencem ao Grupo São Bento, e consistem de rochas vulcânicas do Cretáceo de composição basáltica da Formação Serra Geral e arenitos da Formação Botucatu (Jurássico/Cretáceo) e da Formação Pirambóia (Triássico/Jurássico) (Crósta et al. 2011). A ocorrência anômala destes arenitos na região oeste de Santa Catarina é observada somente no interior das estruturas de impacto, ressaltando a correlação entre os afloramentos de arenitos e as estruturas de impacto.

O mapa geológico local de Vargeão (Figura 8) define as unidades geológicas para a estrutura como sendo: Brechas, Ácidas Chapecó, Basaltos Alto Uruguai e Fm. Pirambóia/Botucatu (Vieira, 2009). O mapeamento geológico de Vista Alegre (Figura 9) mostra as litologias de brecha polimíctica de impacto, basalto fraturado e basalto (Vieira, 2003).

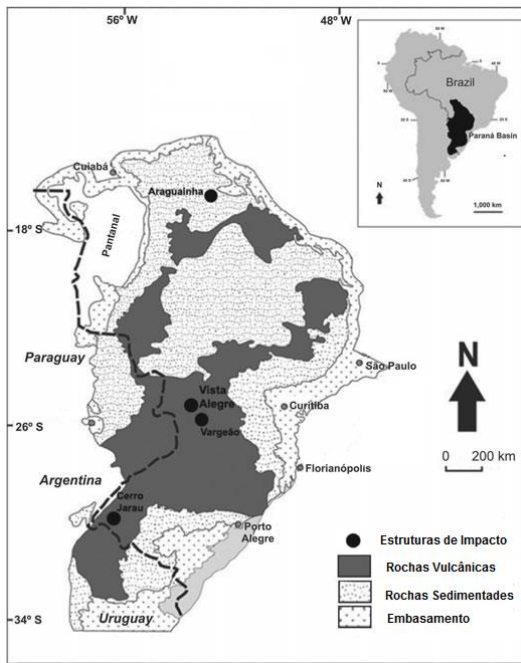


Figura 1: Mapa de localização das estruturas de impacto de Vargeão e Vista Alegre dentro dos limites da bacia do Paraná (Modificado de Vieira et al. 2009).

Materiais e Métodos

Os dados gravimétricos e magnéticos utilizados para este estudo foram adquiridos através de levantamentos geofísicos terrestres. Para medidas gravimétricas foi utilizado o gravímetro CG-5 AUTOGRAV. Para medidas do campo magnético foram utilizados os magnetômetros CS-L (vapor de Césio) e ENVI PRO (precessão de prótons). O CS-L foi utilizado para medidas de caminhada e o ENVI PRO para monitoramento da variação diurna do campo magnético. Os três equipamentos são fabricados pela Scintrex. Além disso, para posicionamento de alta precisão foram realizadas medidas com GPS diferencial modelo Pathfinder ProXT Receiver, da Trimble.

As medidas foram realizadas com um espaçamento médio de 200 metros e cobriram uma área aproximada de 750 km², totalizando cerca de 800 pontos. Todos os dados foram georeferenciados para o datum WGS 84 e projeção UTM zone 22S.

Medidas de densidades foram realizadas nos laboratórios do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) com amostras das principais litologias presentes nas estruturas de impacto.

Processamento dos Dados

O processamento dos dados gravimétricos foi realizado em três etapas (Figura 2). A primeira etapa foi desenvolvida no software Matlab com algoritmo próprio para importação dos arquivos do CG-5 e cálculos envolvidos na correção ar-livre e correção Bouguer. Na segunda etapa foram aplicadas as correções gravimétricas calculadas e também a remoção do campo regional. Para remoção do campo regional foi utilizado

ajuste por polinômio robusto de segundo grau (Beltrão et al. 2011). A terceira etapa consistiu na definição do tamanho da célula de interpolação (50 metros - representando aproximadamente 1/4 do espaçamento entre pontos), aplicação do método de interpolação (Mínima Curvatura), obtenção do campo gravimétrico residual e confecção dos mapas com o software Oasis Montaj da Geosoft.

O processamento dos dados magnéticos foi feito de forma similar (Figura 3). A primeira etapa se difere pelo cálculo do IGRF (International Geomagnetic Reference Field). Posteriormente remove-se: (i) o IGRF; (ii) a variação diurna a partir dos dados do magnetômetro de base; (iii) o campo regional com ajuste por polinômio robusto de segundo grau (Beltrão et al. 2011). Após essas correções, foi obtido o campo magnético anômalo e foram definidos os parâmetros de interpolação (Mínima Curvatura com célula de 50 metros). Por último foram gerados os mapas no software Oasis Montaj.

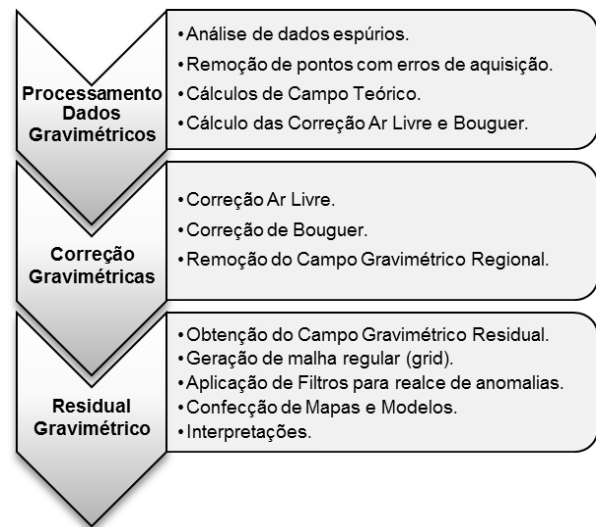


Figura 2: Etapas do processamento dos dados gravimétricos.

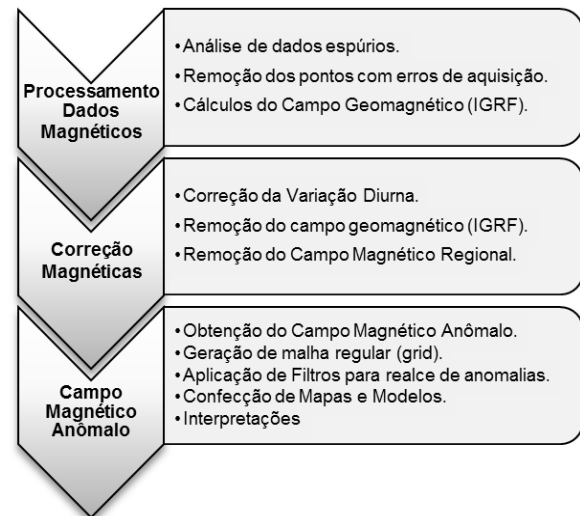


Figura 3: Etapas do processamento dos dados magnéticos.

Resultados e Discussões

As Figuras 4 e 5 mostram a assinatura do campo gravimétrico residual nas estruturas de impacto de Vargeão e Vista Alegre, respectivamente. Em ambas as estruturas, observa-se um baixo gravimétrico em sua porção central, tipicamente observado em estruturas de impacto (Pilkington & Grive 1992).

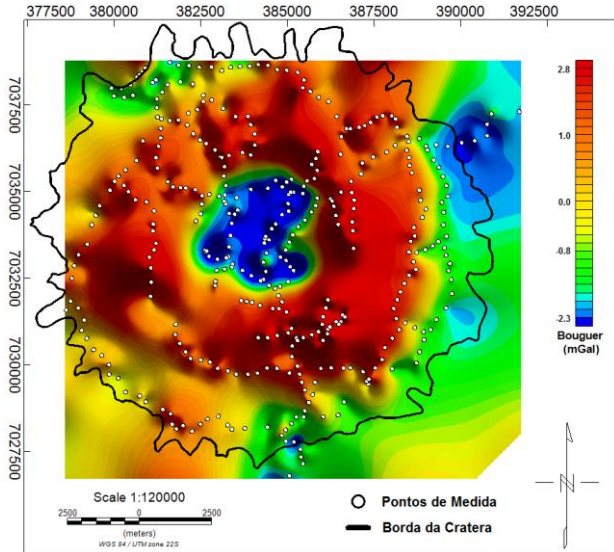


Figura 4: Anomalia gravimétrica Bouguer residual da estrutura de impacto de Vargeão.

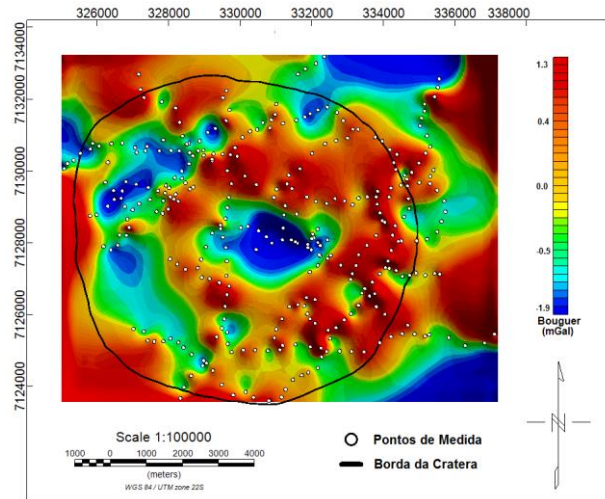


Figura 5: Anomalia gravimétrica Bouguer residual da estrutura de impacto de Vista Alegre.

A estrutura de impacto de Vargeão apresenta anomalia Bouguer de $\sim -2,8$ mGal em seu centro. Esta anomalia está circundada por valores positivos da ordem de 1,4-2,8 mGal.

Na estrutura de Vista Alegre tem-se uma anomalia Bouguer central de $\sim -2,5$ mGal contornada por altos gravimétricos da ordem de 0,5-1,1 mGal.

Esses valores de anomalia gravimétrica estão relacionados com as dimensões das estruturas de impacto, em que, quanto o maior o diâmetro temos uma

anomalia mais negativa (Pilkington & Grive 1992). Assim foi possível observar essa relação entre as estruturas sendo que Vargeão com $D \approx 12$ km apresentou uma anomalia Bouguer $\sim -2,8$ mGal, enquanto Vista Alegre com $D \approx 9,5$ km teve uma anomalia Bouguer $\sim -2,5$ mGal.

O baixo gravimétrico observado em ambas as estruturas pode estar relacionado a duas causas principais: (i) ao soerguimento dos arenitos que ocorrem nessa área; ou (ii) a deformação mais intensa dos estratos que ocorre na porção central de crateras de impacto. Em ambas as hipóteses a redução da densidade do alvo local resulta em uma anomalia gravimétrica negativa. A Tabela 1 mostra os valores de densidade para as diferentes litologias encontradas nas estruturas.

Tabela 1: Valores de densidades médias e estatísticas para as amostras de rochas das estruturas de impacto de Vargeão e Vista Alegre.

Rocha	Densidade Média (kg/m ³)	Mínimo (kg/m ³)	Máximo (kg/m ³)	Desvio Padrão
Arenitos	2420	2411	2435	0,011
Basalto	2948	2930	2975	0,014
Basalto Fraturado	2769	2747	2779	0,012
Brechas	2410	2375	2484	0,050

As outras regiões de baixos gravimétricos têm principal contribuição das brechas depositadas no fundo da cratera e também da rocha alvo fraturada (Tabela 1).

As assinaturas gravimétricas podem ser melhor observadas com mapas 3D utilizando o valor da anomalia Bouguer residual como amplitude no eixo z (Figuras 10, 11).

As anomalias magnéticas apresentam maior complexidade e distribuição espacial mais heterogênea em relação às anomalias gravimétricas. Porém podem ser observadas porções predominantes de baixos magnéticos no interior de ambas as estruturas de impacto (Figuras 6, 7). Esses baixos são relacionados à redução de susceptibilidade magnética das rochas pós-impacto. São observadas também estruturas com alto magnético em regiões próximas ao centro que podem estar relacionadas com magnetizações remanescentes (Pilkington & Grive 1992).

Conclusões

Para as estruturas de impacto estudadas, os dados gravimétricos realçam uma anomalia central negativa que é característica desse tipo de estrutura. Mesmo com estruturas de diâmetros próximos, obtivemos a correlação do diâmetro da cratera com a amplitude da anomalia Bouguer, em que o maior diâmetro (estrutura de Vargeão) apresentou uma anomalia Bouguer mais negativa.

As assinaturas magnéticas apresentam uma maior quantidade e complexidade de anomalias associadas, devido à susceptibilidade magnética das rochas sofrer maiores variações ao longo das estruturas de impacto.

No entanto observamos a presença de baixos magnéticos no interior da cratera e presença de blocos com altos magnéticos acima de 800 nT próximo ao núcleo das estruturas.

Conforme proposto como objetivo do trabalho, foi possível determinar assinaturas geofísicas importantes presentes nas estruturas de impacto estudadas.

Resultados posteriores, tais como obtenção de modelos geológicos 3D em subsuperfície estão sendo desenvolvidos a partir dessas assinaturas gravimétricas e magnéticas através de modelagem direta. A inserção de dados geológicos, propriedades físicas das rochas e os dados geofísicos, deverá reduzir a ambiguidade nas modelagens.

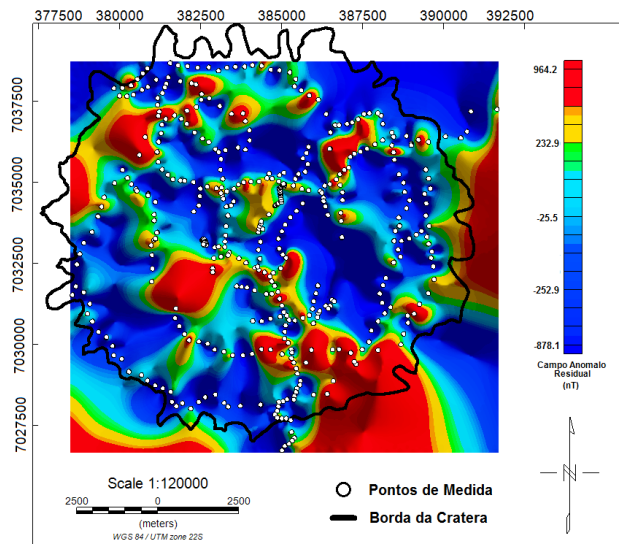


Figura 6: Campo magnético anômalo residual da estrutura de impacto de Vargeão.

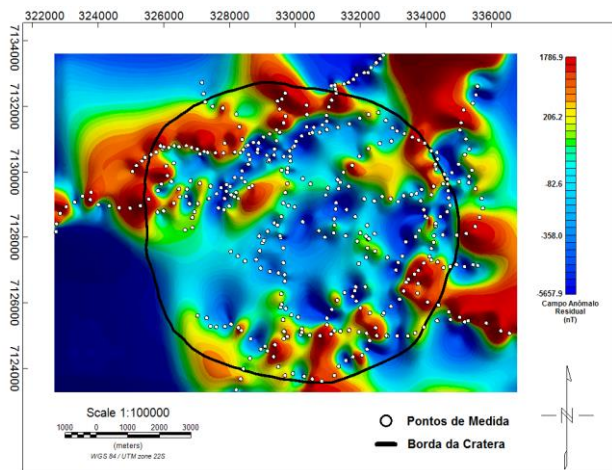


Figura 7: Campo magnético anômalo residual da estrutura de impacto de Vista Alegre.

Referências Bibliográficas

BELTRÃO, J.F., SILVA, J.B.C., COSTA, J.C. 1991. Robust polynomial fitting method for regional gravity estimation. *Geophysics*, vol. 56 (1): 80-89.

CRÓSTA, A. P. 2004. Impact craters in Brazil: How Far We've Gotten. *Meteoritics & Planetary Science*, v. 39, Supplement, pp. A-27.

CRÓSTA, A. P.; KAZZUO-VIEIRA, C.; SCHRANK, A. 2004. Vista Alegre: a newly discovered impact crater in Southern Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, v. 39, Supplement, pp. A-28.

CRÓSTA, A.P. KAZZUO-VIEIRA,C.; CHOUDHURI,A.; SCHRANK,A. 2006. Astroblema do Domo de Vargeão, SC: Registro de Impacto Meteorítico sobre Rochas Vulcânicas da Bacia do Paraná.

CRÓSTA, A.P., KOEBERL, C., FURUIE, R.A., KAZZUO-VIEIRA, C., 2010, Vista Alegre, southern Brazil: a new impact structure in the Paraná flood basalts. *Meteoritics & Planetary Science*.

CRÓSTA, A.P., KAZZUO-VIEIRA, C., PITARELLO, L., KOEBERL, C., KENKMANN, T.2011. Geology and impact features of Vargeão Dome, southern Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*. 21pp.

FRENCH, B.M. 2004. The Importance of Being Cratered: The New Role of Meteorite Impact as a Normal Geologic Process. *Meteoritics & Planetary Science*.

FRENCH, B.M. 1998. Traces of catastrophe: A Handbook of Shock-Metamorphic Effects in Terrestrial Meteorite Impact Structures. LPI Contribution No. 954, Lunar and Planetary Institute. Houston. 120 pp.

KOEBERL, C. 2001. Craters on the Moon from Galileo to Wegener: a Short History of the Impact Hypothesis, and Implications for the Study of Terrestrial Impact Craters; Earth, Moon and Planets.

MELOSH, H. J. 1989. Impact cratering: A geologic process. Oxford University Press, New York.

PILKINGTON, M., GRIEVE, R.A.F. 1992. The geophysical signature of terrestrial impact craters. *Rev. Geophys.*, 30(2): 161-181.

VIEIRA, C.K. 2003. Mapeamento Geológico do Astroblema de Vargeão, SC. TCC Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Geociências. Campinas. 48 pp.

VIEIRA, C.K. 2009. Caracterização geológica e geofísica da estrutura de impacto Domo de Vargeão, SC. Tese de mestrado Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Instituto de Geociências. Campinas. 142 pp.

Agradecimentos

Ao Prof. Álvaro Crósta por disponibilizar os mapas geológicos e informações das duas estruturas de impacto de estudo; À FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto (processo nº 2011/08014-5); ao MSc. Elder Yokoyama do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-USP) pela disponibilização de suas amostras, técnicas de medida e estrutura de laboratórios; aos moradores da cidade de Vargeão-SC e da vila de Vista Alegre-PR pelo apoio durante os levantamentos geofísicos.

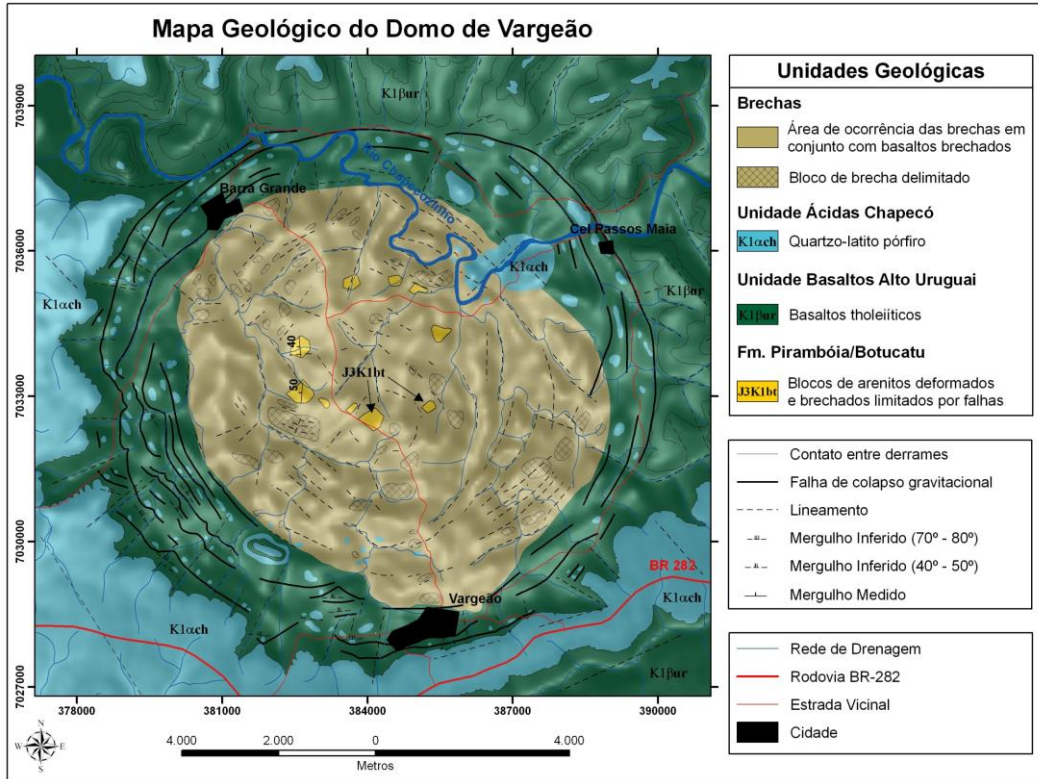


Figura 8: Mapa geológico da estrutura de impacto de Vargeão (VIEIRA, 2009).

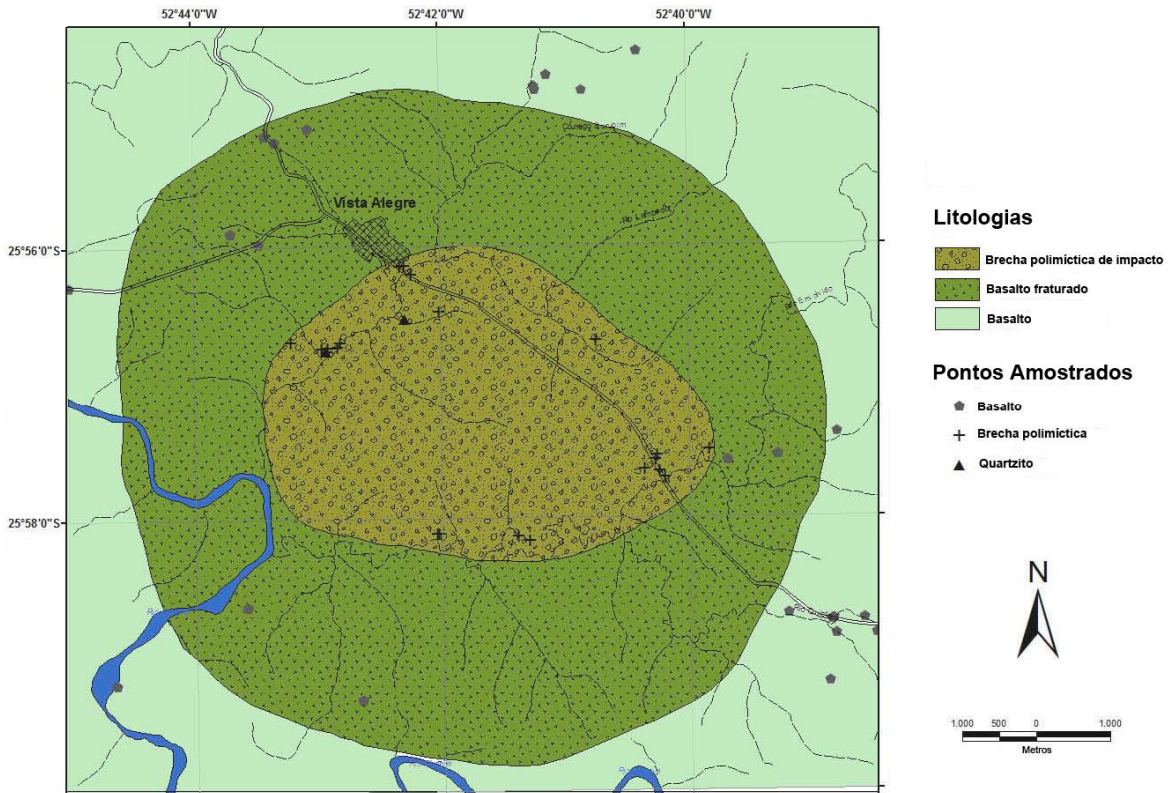


Figura 9: Mapa geológico da estrutura de impacto de Vista Alegre (VIEIRA, 2003).

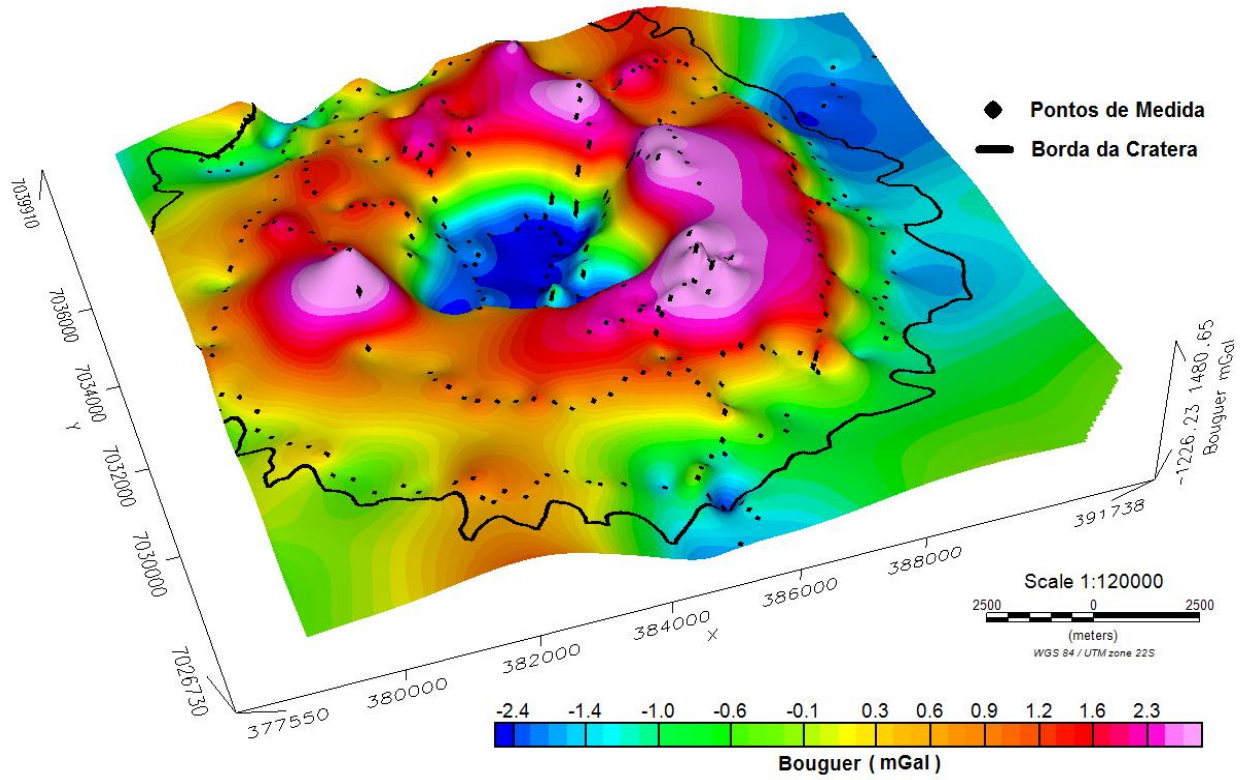


Figura 10: Mapa 3D para campo gravimétrico residual da estrutura de impacto de Vargeão.

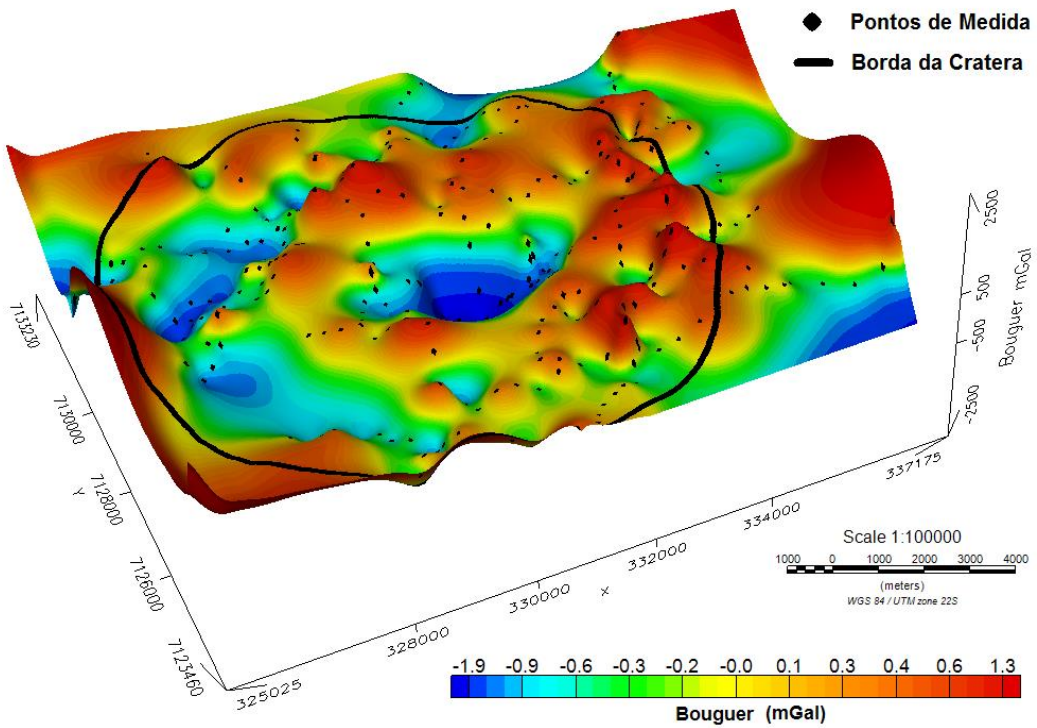


Figura 11: Mapa 3D para campo gravimétrico residual da estrutura de impacto de Vista Alegre.