

Uso de técnicas de sensoriamento remoto e mapeamento geológico para a caracterização da possível estrutura de impacto do Cerro do Jarau, Quaraí - RS.

Fernanda Silva Lourenço¹
Alvaro Penteado Crósta²

¹ Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello - CENPES
Av. Horácio Macedo, 950 - 21941-915 – Rio de Janeiro - RJ, Brasil
fernandalourenco@petrobras.com.br

² Instituto de Geociências - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP
Caixa Postal 6152 - 13081-970 - Campinas - SP, Brasil
alvaro@ige.unicamp.br

Abstract. Cerro do Jarau is a prominent, ~13.5 km-wide, circular landform which rises >200m above the plains of the “pampas” in southern Brazil. Its origin has been debated for decades, and endogenous tectonics processes or large meteorite impact were suggested. However, the search for conclusive evidences continues. Remote sensing images were applied for a preliminary investigation of this anomalous circular landform. In this work we characterized Cerro do Jarau structure by using several satellites images (LANDSAT-7/ETM+, Terra/ASTER multispectral sensor and CBERS 2B/HRC, and by digital elevation model from the Space Shuttle Endeavour/SRTM). This structure was formed in Mesozoic volcanic-sedimentary rocks of the Paraná Basin and consists of the Jurassic-Cretaceous Guará and Botucatu (sandstones) and Serra Geral (basalts) formations. The Botucatu Formation sandstones are intensely silicified and deformed, and were subject to radial and annular faulting. Our investigations in the field identified the occurrence of parautochthonous monomict breccia and polymict breccias resembling suevite, and striated joint surfaces resembling shatter cones in sandstones and basalts. In addition, our first results of mineral deformation analysis show the presence of rare planar features in quartz clasts in polymict breccias, which, for the first time, suggest an impact origin for the structure. If confirmed by further investigation, Cerro do Jarau may become the sixth known impact structure in Brazil, as well as the fifth basalt-hosted impact structure on Earth.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, impact craters, sensoriamento remoto, processamento de imagens, crateras de impacto.

1. Introdução

O estudo das crateras de impacto possui importância fundamental para a análise da evolução dos corpos planetários. Em todo o território brasileiro, que corresponde a aproximadamente 8,5 milhões de km², apenas cinco estruturas foram comprovadamente reconhecidas como tendo sido formadas por impactos, todas localizadas em bacias sedimentares datadas do Fanerozóico: Domo de Araguinha-MT (Crósta et al., 1981), Serra da Cangalha-TO e Riachão-MA (McHone, 1986); Domo de Vargeão-SC (Crósta, 1987); e Vista Alegre-PR (Crósta et al. 2004). Um dos motivos principais para o reduzido número de estruturas comprovadas no Brasil, comparando-se com outros países, é a falta de estudos específicos relacionados a crateras de impacto. Soma-se a isso o intenso processo de intemperismo inerente às latitudes tropicais, bem como a presença de densa cobertura vegetal e o uso agrícola, que mascaram a morfologia característica destas feições, dificultando assim o seu reconhecimento inicial.

A estrutura do Cerro do Jarau localiza-se a 25 km do município de Quaraí, na região oeste do estado do Rio Grande do Sul, a cerca de 590 km de Porto Alegre, com seu centro em 30° 12' S e 56° 32' W (Figura 1). A estrutura circular constitui uma feição anômala em meio ao pampa gaúcho, com cristas que se elevam a até 200 m (Figuras 2 e 3).

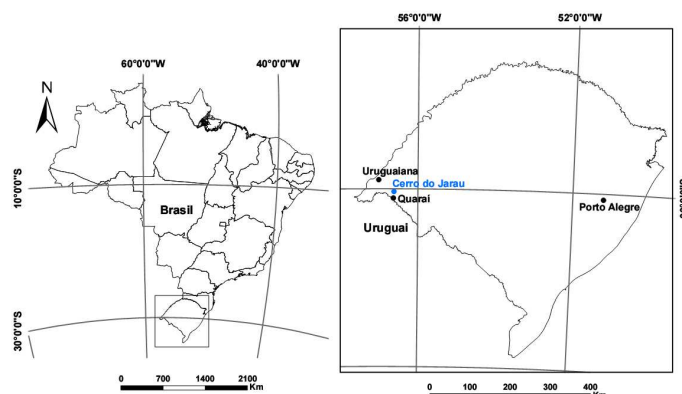


Figura 1. Localização da estrutura do Cerro do Jarau.

A interpretação de imagens de satélite e fotografias aéreas é um passo importante no processo de identificação de estruturas de impacto, já que este, geralmente, ocorre a partir do reconhecimento de feições circulares anômalas. Embora a estrutura do Cerro do Jarau seja conhecida há décadas, tendo sido apontada inicialmente como um domo estrutural (Grehs, 1969) e, posteriormente, como uma possível estrutura de impacto (Schuck e Lisboa, 1988; Hachiro et al., 1995), até o momento não haviam sido apresentadas evidências conclusivas que provassem tais hipóteses.

Crósta et al. (2010) apresentam resultados preliminares sobre a geologia da estrutura do Cerro do Jarau, e apontam para a origem por impacto meteorítico, o que a tornaria a sexta estrutura de impacto comprovada no Brasil.

A importância do Cerro do Jarau como possível estrutura de impacto está relacionada às litologias presentes na estrutura. As crateras de impacto formadas em basaltos, apesar de comuns em outros planetas terrestres e luas, são raras na Terra. Até o presente, são conhecidas as crateras Lonar, na Índia (Fredriksson et al., 1973; Fudali et al., 1980; Osae et al., 2005) e Logancha, na Rússia (Feldman et al., 1983; Masaitis, 1999). Existem ainda duas outras possíveis estruturas de impacto em basaltos no Brasil, também da Formação Serra Geral: Vargeão e Vista Alegre (Crósta et al., 2004, 2006, 2010). Como apontado por Fudali et al. (1980), as rochas-alvo basálticas geram feições de deformações únicas, que não são encontradas em outras crateras de impacto, como PDFs em plagioclásio e piroxênio. Segundo French (2004), o estudo de crateras de impacto formadas em rochas basálticas pode levar a importantes descobertas sobre os efeitos dos processos de impacto nas propriedades dessas rochas.

Este trabalho apresenta os resultados de investigações preliminares sobre a estrutura do Cerro do Jarau, baseados em interpretações de dados de sensoriamento remoto, complementados por mapeamento geológico, na busca por evidências conclusivas sobre sua possível origem por impacto.

2. Metodologia de Trabalho

A etapa inicial de desenvolvimento do trabalho consistiu no levantamento bibliográfico sobre a área, seguido da aquisição das cartas topográficas e fotografias aéreas que abrangem a região de estudo. Também foram adquiridas imagens do sensor Landsat 7/ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), órbita 224 e ponto 81 (de 28/01/2000); imagens multiespectrais do sensor Terra/ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), órbita 224 e ponto 81 (de 12/04/2004); o modelo digital de elevação (DEM) por interferometria SAR - SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) e a cena CBERS-2B/HRC (câmera de alta resolução espacial do satélite sino-brasileiro CBERS, com 2,5 m).

A partir dessas imagens, foram elaborados mapas de interpretação geológica preliminares, nos quais foram identificadas duas litologias distintas. Ainda nesta etapa preliminar, foi feita uma fotointerpretação inicial, com base nos pares estereoscópicos, através dos quais foi possível identificar os padrões preferenciais da rede de drenagem, a textura e contatos entre diferentes litologias e os principais lineamentos.

A etapa de campo que se seguiu foi realizada em julho de 2007, e 102 pontos foram investigados, com a coleta de 52 amostras de rochas e confecção de 30 lâminas delgadas. As análises foram feitas em microscópio óptico e as porcentagens dos minerais foram estimadas por contagem modal. Foram identificadas fraturas planares (PFs) em grãos de quartzo, e algumas amostras foram selecionadas para medição da orientação de seu eixo cristalográfico usando uma platina universal.

Os resultados obtidos foram publicados no volume 465 do *Special Publication* da *The Geological Society of America* (Crósta et al., 2010).

3. Resultados e Discussão

Neste trabalho buscou-se a caracterização detalhada da estrutura do Cerro do Jarau com o emprego de imagens de sensores orbitais ETM+ do satélite Landsat, ASTER do satélite Terra, do radar interferométrico da missão SRTM a bordo do ônibus espacial Endeavour, e da câmera de alta resolução do satélite sino-brasileiro CBERS.

Através do modelo digital de elevação, gerado a partir dos dados da missão SRTM, é possível visualizar a estrutura do Cerro do Jarau, favorecendo sua identificação e caracterização morfológica. Os padrões da rede de drenagem são facilmente identificados, sendo que os arroios Garupá e Quaraí Mirim estão fortemente condicionados à estrutura circular, circundando-a de forma a indicar sua associação com uma feição de soerguimento crustal. Já o padrão da drenagem interno à estrutura, representado principalmente pela Sanga Nhanduvai e seus tributários, é nitidamente radial. Essa associação de padrões circular-radial é típica de estruturas de impacto terrestres, sendo observada em sua grande maioria. Pode-se notar ainda que a estrutura apresenta um núcleo central soerguido, em formato de ferradura (Figura 2). No perfil altimétrico de direção NE-SW (Figura 3) o núcleo central soerguido está bem representado, sendo que na porção NW ocorrem as maiores elevações da área, chegando a 200 m. A borda externa da estrutura encontra-se bastante erodida, não sendo observada em campo. Desse modo, a estimativa do diâmetro real da cratera de impacto original pode ser feita por meio do emprego dessas imagens de satélites e de fotografias aéreas, mas não é precisa devido à remoção por erosão das bordas da estrutura.

O núcleo central pode ser observado com maior detalhe na Figura 4, proveniente da câmera de alta resolução do satélite CBERS (resolução espacial de 2,5 m).

A composição R4 G3 B1 da imagem Landsat permite realçar a presença de minerais de óxido/hidróxidos de Fe (associados às rochas basálticas), que refletem na banda 3, correspondente ao comprimento de onda verde da radiação eletromagnética visível. Dessa forma, as regiões ricas nesses minerais apresentam coloração esverdeada na imagem de composição colorida, o que permite visualizar os contatos entre os basaltos e as demais rochas aflorantes no interior da estrutura (Figura 5).

As bandas do visível e infravermelho próximo (VNIR) do sensor ASTER possuem resolução espacial de 15 m, o que facilita a identificação de lineamentos, vias de acesso e afloramentos. Os lineamentos observados nas imagens desse sensor marcam com bastante fidelidade a estrutura circular, assim como evidenciam os afloramentos de arenito silicificado que compõem as cristas do Cerro do Jarau. Foi utilizada a composição R3 G2 B1 do ASTER, que destaca a vegetação em vermelho (Figura 6).

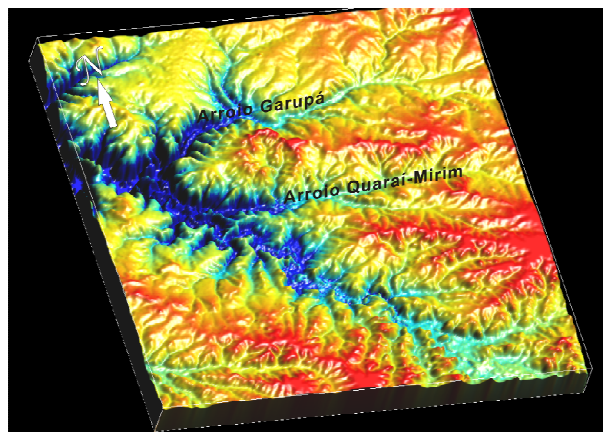


Figura 2. Modelo digital de elevação (DEM) da região da estrutura do Cerro do Jarau, representado em perspectiva. Cores vermelhas indicam altos topográficos, gradando até as cores azuis indicando baixos topográficos. Exagero vertical 8x.

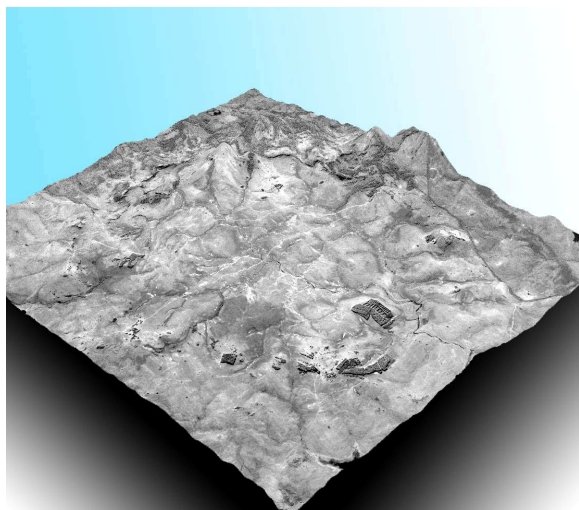


Figura 4. Imagem da câmera de alta resolução (HRC) do satélite CBERS, destacando o soerguimento do núcleo central da estrutura.

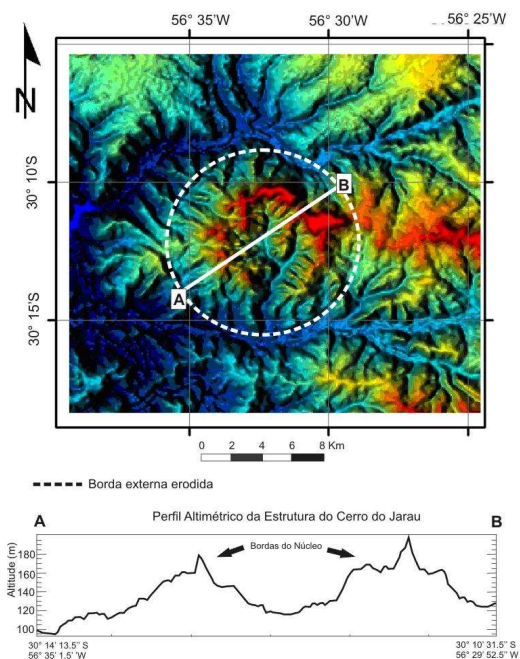


Figura 3. Detalhe da estrutura do Cerro do Jarau segundo o modelo digital de elevação SRTM. A linha pontilhada corresponde ao limite externo inferido para a estrutura, que teve suas bordas removidas por erosão. No perfil altimétrico A-B, é possível notar a elevação marcante do núcleo central. O diâmetro da estrutura é de aproximadamente 13,5 km.

Já com as bandas do infravermelho termal (TIR) do ASTER, cuja resolução espacial é de 90 m, foi possível realçar a presença de sílica (relacionada à intensa silicificação dos arenitos), a partir da aplicação da técnica de análise por principais componentes ao conjunto das bandas termais 10, 12, 13 e 14. Na Figura 7, as porções ricas em sílica são destacadas em tons brancos, o que inclui também as exposições de arenitos não silicificados e de aluviões arenosos ao longo das drenagens. Apesar da grande quantidade de ruído típica das bandas TIR do ASTER, é possível notar os locais em que há maior ocorrência de afloramentos de arenito silicificado na borda interna da estrutura, em tons esbranquiçados, principalmente no quadrante NE.

A etapa de mapeamento geológico da estrutura levou à identificação de seis tipos de rochas, sendo que três puderam ser associados a unidades litoestratigráficas da Bacia do Paraná: arenitos fluviais relacionados à Formação Guará, arenitos eólicos relacionados à Formação Botucatu e basaltos relacionados à Formação Serra Geral.

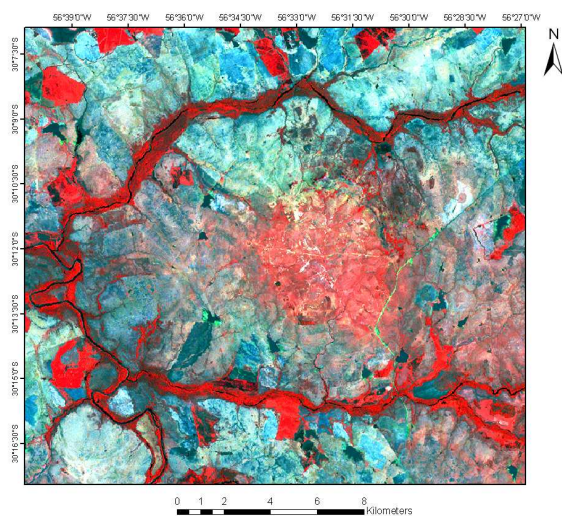


Figura 5. Imagem Landsat ETM+ bandas R4 G3 B1. Resolução: 30m. A coloração esverdeada denota a presença de óxido/hidróxidos de Fe associados às rochas basálticas.

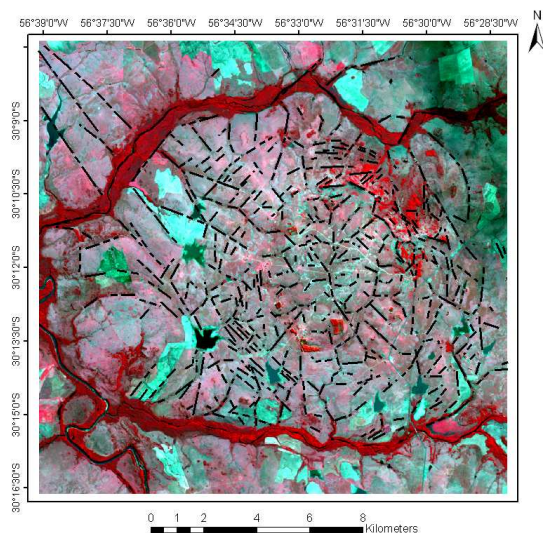


Figura 6. Imagem ASTER bandas R3 G2 B1 VNIR. Resolução: 15m. Os lineamentos (linhas tracejadas) marcam toda a porção externa da estrutura circular, bem como as cristas formadas por blocos de arenito silicificados.

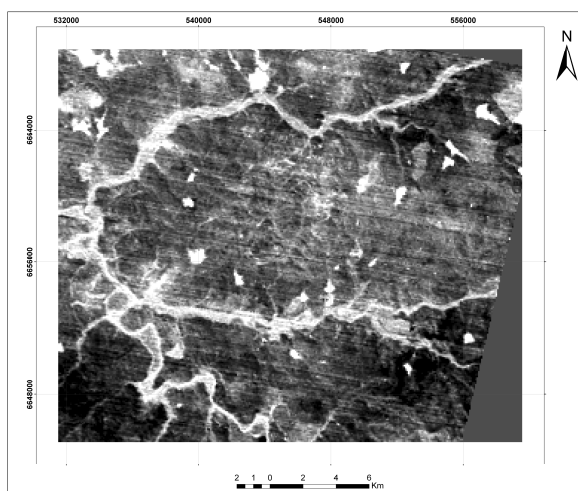


Figura 7. Imagem da 2ª. PC das bandas 10 12 13 14 do ASTER (TIR). Resolução: 90m. Porções ricas em sílica são destacadas em tons brancos.

Foram ainda identificadas brechas monomíticas em arenitos e basaltos, e brechas polimíticas com clastos de arenito e basalto. As três unidades litoestratigráficas afloram como anéis concêntricos, sendo que a Formação Guará (basal) aparece no centro da estrutura, circundada pela Formação Botucatu, que, por sua vez, está em contato com a Formação Serra Geral (Figura 8). Este padrão sugere um soerguimento da parte central da estrutura, formando uma janela estratigráfica/estrutural. As amostras dessas três unidades coletadas dentro da estrutura apresentam deformações macroscópicas e microscópicas que não são observadas em rochas similares aflorantes fora da estrutura ou mesmo em outros pontos da Bacia do Paraná.

Quanto à presença de feições indicativas de impacto, foram encontradas várias feições principalmente na região do núcleo central da estrutura, semelhantes àquelas observadas em crateras já comprovadas. Entre elas, estão estrias divergentes e curvadas em arenitos da Formação Guará; fraturas em formato de rabo de cavalo, que se assemelham à *shatter cones*, em basaltos da Formação Serra Geral (Figura 9); feições planares de deformação em grãos de quartzo, que lembram fraturas planares (descritas em rochas que sofreram metamorfismo de impacto) (Figura 10); presença de brechas monomíticas e polimíticas com fragmentos de materiais que se assemelham a vidro; evidências de alteração hidrotermal (arenitos silicificados e oxidados) (Crósta et al., 2010). A presença de material vítreo seria um indicativo de que as brechas podem ser suevitos, de acordo com a nomenclatura proposta por Stöffler and Grieve (2007).

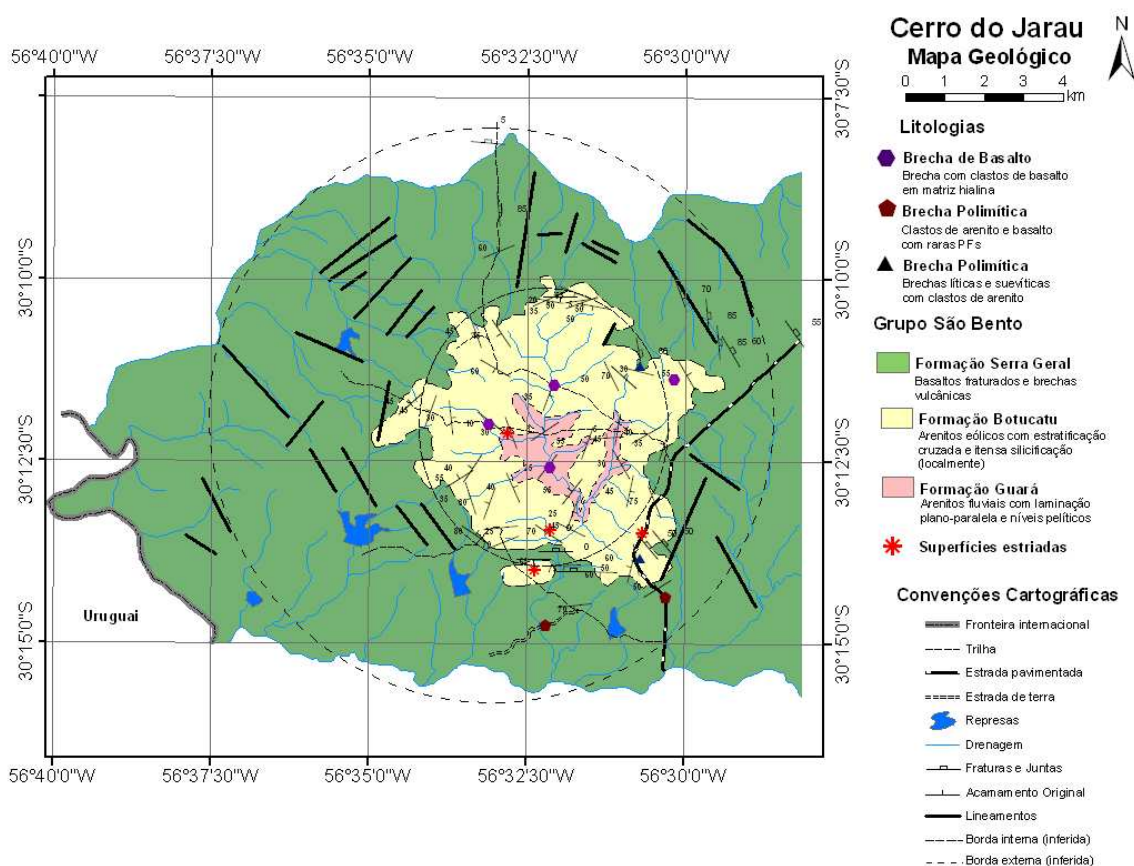


Figura 8. Mapa geológico esquemático da área de estudo.

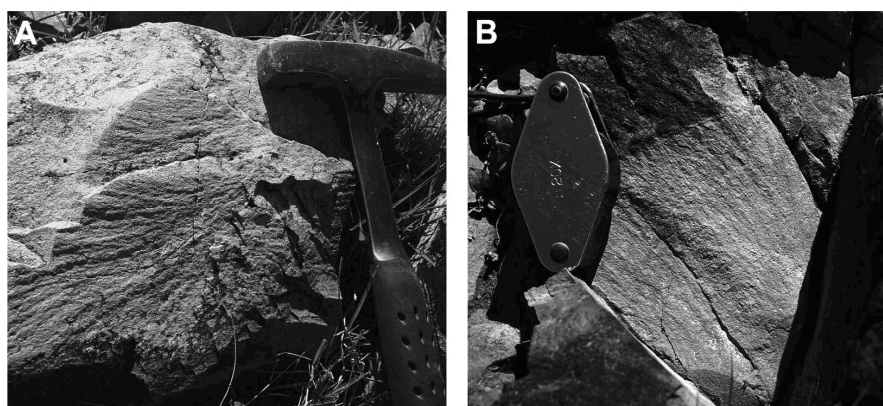


Figura 9. Superfícies estriadas. (A). Múltiplas estrias curvilíneas que lembram *shatter cones*, em arenito da Fm. Guará. (B) Estrias no formato de rabo-de-cavalo em basalto da Fm. Serra Geral.

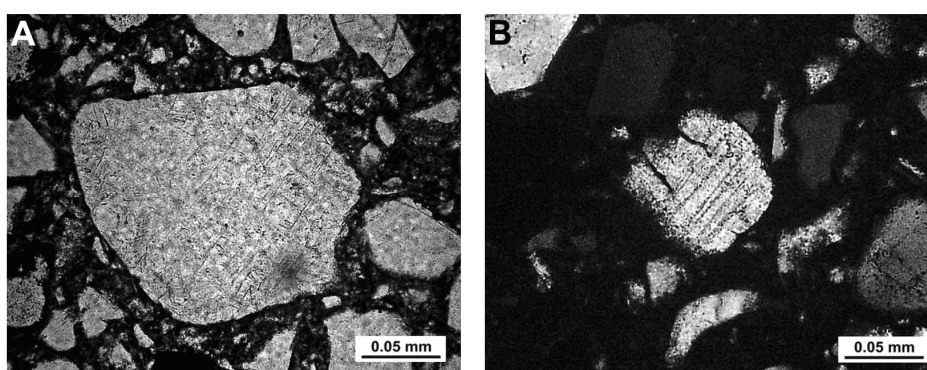


Figura 10. (A-B). Fraturas planares (PFs) em grãos de quartzo provenientes de brechas de arenito, mostrando um *set* de PFs cada. Nicóis cruzados.

4. Conclusões

A estrutura do Cerro do Jarau, objeto de estudo de vários autores ao longo de décadas, pode vir a se confirmar como a sexta cratera de impacto brasileira, após estudos petrográficos mais detalhados aliados ao mapeamento geológico de maior detalhe. O uso de técnicas de processamento de imagens de sensoriamento remoto mostrou-se eficaz na identificação prévia das litologias existentes na área de estudo, além de desempenhar papel fundamental na estimativa do diâmetro da estrutura. Estima-se que, de borda a borda, este seja de aproximadamente 13,5 km, e que o anel central possua dimensões de 6,5 x 5,2 km, deslocado na direção leste em relação à borda. Seu formato elíptico lembra estruturas de impacto produzidas por colisões oblíquas e de baixo ângulo ($<12^\circ$). Caso sua origem seja confirmada, será uma rara oportunidade de se estudar os efeitos de colisão de baixo ângulo em crateras basálticas.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo financiamento da pesquisa de campo; ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (CNPq/PIBIC); aos professores A. Schrank, A. Vidal e T.J.S dos Santos, do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas; e a L.Hecht e J.R. Morrow, revisores do artigo publicado na G.S.A, bem como os editores R.L. Gibson e W.U. Reimold.

Referências Bibliográficas

Crósta, A. P.; Gaspar, J. C.; Candia, M. A. F. Feições de metamorfismo de impacto no Domo de Araguinha. *Revista Brasileira de Geociências*, v.11, p.139-146, 1981.

Crósta, A. P. Impact structures in Brazil. In: Pohl, J. (ed.) **Research in Terrestrial Impact Structures**. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1987. p.30-38.

Crósta, A. P.; Kazzuo-Vieira, C.; Schrank, A. Vista Alegre: a newly discovered impact crater in Southern Brazil [abs.] **Meteoritics & Planetary Science**, v. 39, supplement, p.A-28, 2004.

Crósta, A.P.; Kazzuo-Vieira, C.; Choudhuri, A.; Schrank, A.; Vargêo Dome Astrobleme, State of Santa Catarina: A meteoritic impact record on volcanic rocks of the Paraná Basin. In: Winge, M.; Schobbenhaus, C., Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A. (eds.) **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: SIGEP/DNPM, 2006. v.2, p.1-12.

Crósta, A. P.; Lourenço, F. S.; Priebe, G. H. Cerro do Jarau, Rio Grande do Sul: A possible new impact structure in southern Brazil. In: Gibson, R.L. and Reimold, W.U. (eds.). **Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV**: Geological Society of America Special Paper 465. Boulder, CO: GSA, 2010. p.173-190.

Crósta, A.P.; Koeberl, C.; Furuie, R.; Kazzuo-Vieira, C. The first description and confirmation of the Vista Alegre impact structure in the Paraná flood basalts of southern Brazil. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 45, p.181-194, 2010.

Feldman, V.I.; Sazonova, L.V.; Mironov, Y.U.; Kapustkina, I.G.; Ivanov, B.A.; Circular structure Longancha as possible meteorite crater in basalts of the Tunguska syncline. **Lunar and Planetary Science Conference XIV**: Houston, Texas: Lunar and Planetary Institute, 1983. p.191-192.

French, B.M. The importance of being cratered: The new role of meteorite impact as a normal geologic process. **Meteoritics and Planetary Science**, v. 39, Issue 2, p.167-348, 2004.

Fredriksson, K.; Dube, A.; Milton, D.J.; Balasundaram, M.S. Lonar Lake, India: An impact crater in basalt. **Science**, v. 180, p.862-864, 1973.

Fudali, R.F.; Milton, D.J.; Fredriksson, K.; Dube, A. Morphology of Lonar Crater, India: Comparison and implications. **The moon and the Planets**, v.23, p.493-515, 1980.

Grehs, S. A. Aspectos geológicos e geomorfológicos do Cerro do Jarau, Rio Grande do Sul – Brasil. **Anais do XXIII Congresso Brasileiro de Geologia**. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1969. v.1, p.365-375.

Hachiro, J.; Coutinho, J.M.V; Coimbra, A.M. The Cerro do Jarau astrobleme (Rio Grande do Sul), Brazil: A Creataceous cryptoexplosive structure [abs.] **Anais da Academia Brasileira de Geociências**, resumo das comunicações, v. 67, n. 4, p.20, 1995.

Masaitis, V.L. Impact Structures of northeastern Eurasia: The territories of Russian and adjacent countries. **Meteoritics and Planetary Science**, v. 34, p.691-711, 1999.

McHone, J. F. Terrestrial Impact Structures: Their detection and verification with two new examples from Brazil. 1986. 210 p. PhD Thesis. University of Illinois, Urbana-Champaign. 1986.

Moreira, H.L.; Freitas, P.R.S; Nunes, A.B. Geologia da estrutura de colapso do Jarau. **Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia**. Camboriú: Sociedade Brasileira de Geologia, 1980. v. 5, p.2684-2690.

Osa, S.; Misra, S.; Koeberl, C.; Sengupta, D.; Gosh, S. Target rocks, impact glasses, and melt rocks from the Lonar impact crater, India: Petrography and geochemistry. **Meteoritics and Planetary Science**, v.41, p.237-246, 2005.

Schuck, M. T. G. O.; Lisboa, N. A. Caracterização de formas e padrões estruturais no Grupo São Bento da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul em imagens orbitais e sub orbitais. **Anais do 5º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. v. 2, p.323-333.

Stöffler, D.; Grieve, R.A.F. Impactites. In: Fettes, D. and Desmons, J. (eds.) **Metamorphic Rocks: A classification of the International Union of Geological Sciences**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007. cap 2.11, p.82-92.