Astroblema de Vista Alegre, PR

Impacto meteorítico em derrames vulcânicos da Formação Serra Geral, Bacia do Paraná Paraná

SIGEP 044*

Alvaro Penteado Crósta[1a]
Rafael de Aguiar Furuie[2b]
Alfonso Schrank[1c]
César Kazzuo-Vieira[3d]

Resumo - A estrutura circular de Vista Alegre, localizada no município de Coronel Vivida (PR), representa o remanescente erosivo de uma cratera de impacto meteorítico formada sobre rochas vulcânicas basálticas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. Este astroblema, descoberto em 2004, possui diâmetro de 9,5 km e constitui uma das poucas estruturas geológicas dessa natureza conhecidas no Brasil, e uma das raras crateras meteoríticas formadas em basaltos existentes na Terra. A feição morfológica correspondente à estrutura é bastante marcante, com seu formato quase perfeitamente circular e suas bordas íngremes exibindo desníveis abruptos de até 120 m entre a parte externa e interna da cratera. A identificação da natureza da estrutura se deu a partir do reconhecimento de feições de deformação por choque em brechas formadas por impacto que ocorrem no interior da mesma. Essas feições, que incluem *shatter cones* e feições planares de deformação em cristais de quartzo, se formam exclusivamente em decorrência de metamorfismo de impacto e comprovam a origem da estrutura por evento de colisão meteorítica. Com a descoberta deste astroblema, o registro de impactos meteoríticos no Brasil passa a contar com seis estruturas desse tipo com origem comprovada, sendo quatro delas na Bacia do Paraná (Domo de Araguainha, Domo de Vargeão, Vista Alegre e Cerro do Jarau) e duas na Bacia do Parnaíba (Serra da Cangalha e Riachão).

Palavras-chave: astroblema; cratera de impacto meteorítico; Formação Serra Geral; Bacia do Paraná

The Vista Alegre Astrobleme, State of Paraná – Meteoritic impact on volcanic flows of the Serra Geral Formation, Paraná Basin

Abstract - The Vista Alegre circular structure, in the county of Coronel Vivida (State of Paraná), represents the erosion remnant of a meteoritic impact crater formed on basaltic lavas of the Serra Geral formation of the Paraná Basin. The astrobleme, discovered in 2004, has a diameter of 9.5 km and is one of the few examples of this type of geologic structure known in Brazil, and one of the very rare impact craters formed in basalt on Earth. The morphologic expression of the structure is remarkable, with its near perfect circular outline and steep borders, exhibiting topographic gradients of up to 120 m between the exterior and the interior. The identification of the impact nature of Vista Alegre came after the recognition of shock deformation features in impact breccias found within the structure. These features, comprising shatter cones and planar deformation features in quartz, are exclusively formed due to impact metamorphism and corroborate the occurrence of a meteoritic impact. With the discovery of this astrobleme, the impact record in Brazil comprises currently six confirmed impact craters, four of them located in the Paraná Basin (Araguainha Dome, Vargeão Dome, Vista Alegre and Cerro Jarau) and two in the Parnaíba Basin (Serra da Cangalha and Riachão).

Key words: astrobleme; meteoritic impact crater; Serra Geral Formation; Paraná Basin

INTRODUÇÃO

A formação de crateras meteoríticas representa um fenômeno geológico que, embora relativamente comum ao longo da história geológica da Terra, principalmente em seus estágios iniciais, não deixou numerosos registros aparentes na superfície do planeta. O motivo para isso é que a dinâmica superficial da crosta terrestre fez com que esse registro fosse sendo progressivamente obliterado, ao contrário do que ocorre em outros corpos planetários sólidos, como a Lua, Marte, Vênus, entre outros, que possuem suas superfícies cobertas por crateras. Desse modo, crateras formadas pelo impacto de corpos celestes de grande porte (genericamente chamados de "meteoritos") são feições geológicas raras na Terra, sendo conhecidas cerca de 180 em todo o planeta *(Earth Impact Database:* www.passc.net/EarthImpactDatabase/index.html, acesso em dezembro de 2010).

Proposto por Dietz (1961), o termo "astroblema" é utilizado para designar crateras terrestres em estágios avançados de erosão, que constituem a maioria das crateras meteoríticas conhecidas na Terra.

No Brasil foram registradas até hoje apenas seis estruturas com origem por impacto meteorítico comprovada: Domo de Araguainha (GO-MT), Serra da Cangalha (TO), Riachão (MA), Domo de Vargeão (SC), Cerro Jarau (RS) e Vista Alegre (PR), (Crósta 2004, Crósta 2010a). Além dessas, há o Astroblema de Colônia (SP) (Riccomini *et al*., 2005, 2011), cuja natureza meteorítica permanece ainda por ser comprovada.

Com um diâmetro total de 9,5 km, o Astroblema de Vista Alegre (Figs. 2, 3 e 4) representa o remanescente erosivo de uma cratera de idade máxima atribuível ao Cretáceo, formada sobre lavas basálticas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná, da mesma forma que os astroblemas de Vargeão (com diâmetro de 12,4 km) e Cerro Jarau (com diâmetro de 13,5km).

A descoberta do Astroblema de Vista Alegre ocorreu a partir da observação, em imagens orbitais de sensoriamento remoto, de uma notável anomalia geomorfológica e estrutural de formato circular, cuja verificação em campo revelou a presença de brechas de impacto e outras feições diagnósticas desse tipo de fenômeno (Crósta *et al*., 2004, 2010b).

LOCALIZAÇÃO

O Astroblema de Vista Alegre está localizado na região sudoeste do Estado do Paraná (Fig. 1), com centro definido pelas coordenadas 25º57'S e 52º41'W. A estrutura encontra-se no município de Coronel Vivida, Estado do Paraná, sendo que o bairro rural de Vista Alegre situa-se no interior do astroblema.

O acesso ao interior da estrutura se dá pela rodovia vicinal pavimentada PR-562 que liga Coronel Vivida ao

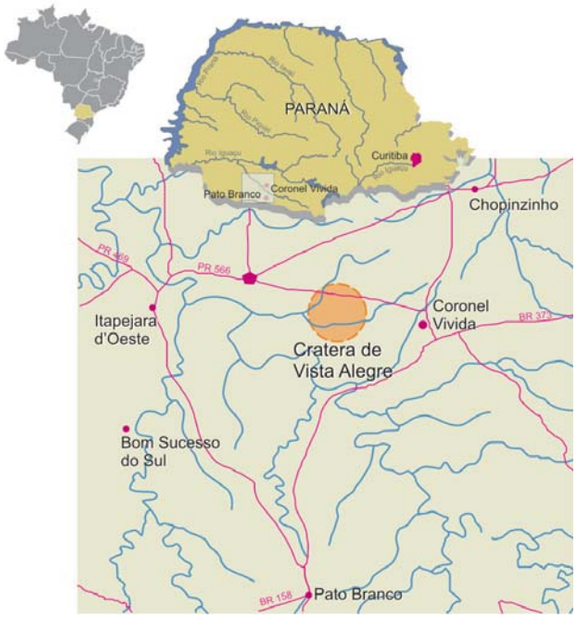


Figura 1 - Localização do Astroblema de Vista Alegre, no município de Coronel Vivida (PR).

Figure 1 - Location of Vista Alegre Astrobleme, Coronel Vivida county, Paraná State.

município vizinho de Itapejara D'Oeste (PR), passando pelo bairro de Vista Alegre. Essa rodovia corta diametralmente todo o interior da estrutura.

DESCRIÇÃO DO SÍTIO

O Astroblema de Vista Alegre se formou sobre os derrames de lava de composição basáltica da Formação Serra Geral, de idade cretácea (139-125 Ma) (Renne *et al*., 1992; Turner *et al*., 1994; Mantovani *et al*., 1995). Esses derrames formam os extensos platôs dissecados pelas principais cursos fluviais da região oeste do Estado do Paraná (rios Iguaçu, Chapecó e Chopim, bem como seus afluentes).

A estrutura é constituída por uma depressão de conformação quase circular, sendo cerca de 2/3 de seu perímetro marcado por escarpas íngremes, com desníveis de até 120 m entre as porções externas mais elevadas e seu interior. O terço restante, localizado nas porções sul e sudoeste, foi removido pela ação erosiva do rio Chopim, cujos meandros chegam a adentrar parcialmente o interior da estrutura em sua porção sudoeste (Fig. 2).

Na borda da estrutura encontram-se expostas camadas de basalto representando cinco distintos derrames de lavas. A borda exibe uma configuração em forma de degraus, resultado da erosão diferencial ao longo do contato entre os distintos derrames.

A morfologia associada ao Astroblema de Vista Alegre contrasta de forma notável daquela típica da região situada no entorno da estrutura. O interior da estrutura é uma área topograficamente rebaixada em relação à parte externa, sendo caracterizado por colinas suaves e desníveis topográficos inferiores a 50m (Fig. 3).

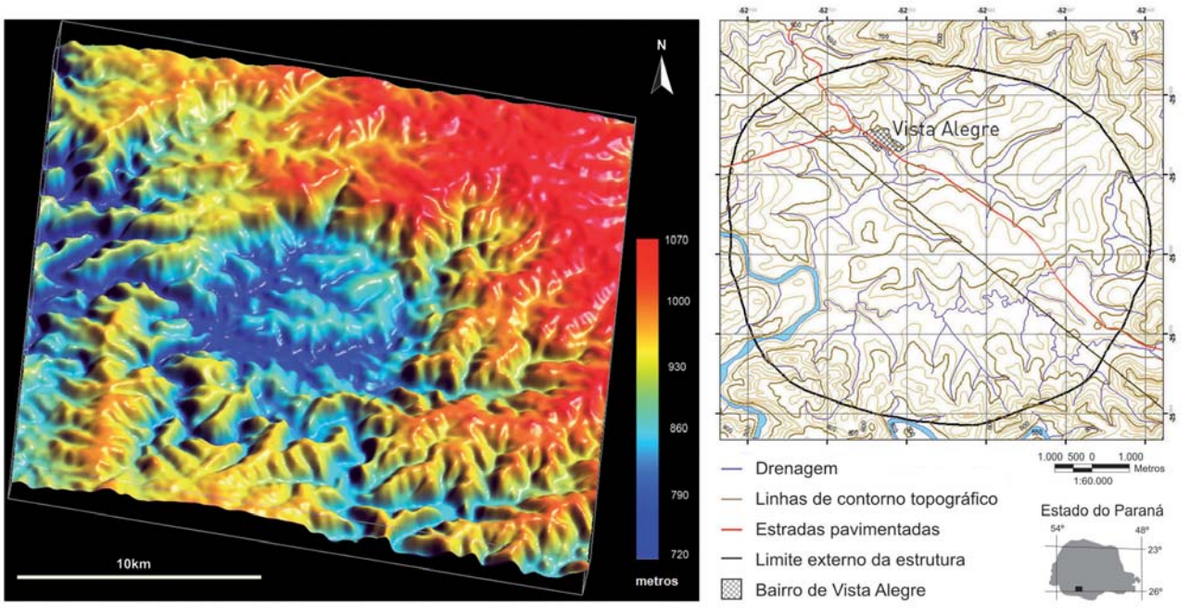


Figura 2 - Morfologia do Astroblema de Vista Alegre. **Esquerda**: vista em perspectiva 3D do modelo digital de elevação SRTM *(Shuttle Radar Topographic Mission)* mostrando a depressão quase circular e as bordas íngremes. **Direita**: mapa com as curvas de nível do astroblema (espaçamento vertical de 10 m); as porções sul e sudoeste da borda da estrutura foram removidas pela ação do rio Chopim, que entra parcialmente na porção sudoeste do interior do astroblema, voltando a fluir para fora em sua borda oeste.

Figure 2 - Morphology of the Vista Alegre Astrobleme. **Left**: 3-D perspective view of the SRTM digital elevation model (*Shuttle Radar Topographic Mission*) depicting the near-circular depression and its steep inner rim. **Right**: map with elevation contours (vertical spacing of 10m) of the structure; the southern and southwestern portions were eroded by the Chopim river, which enters the structure in its southwestern portion, flowing towards outside in its western rim.

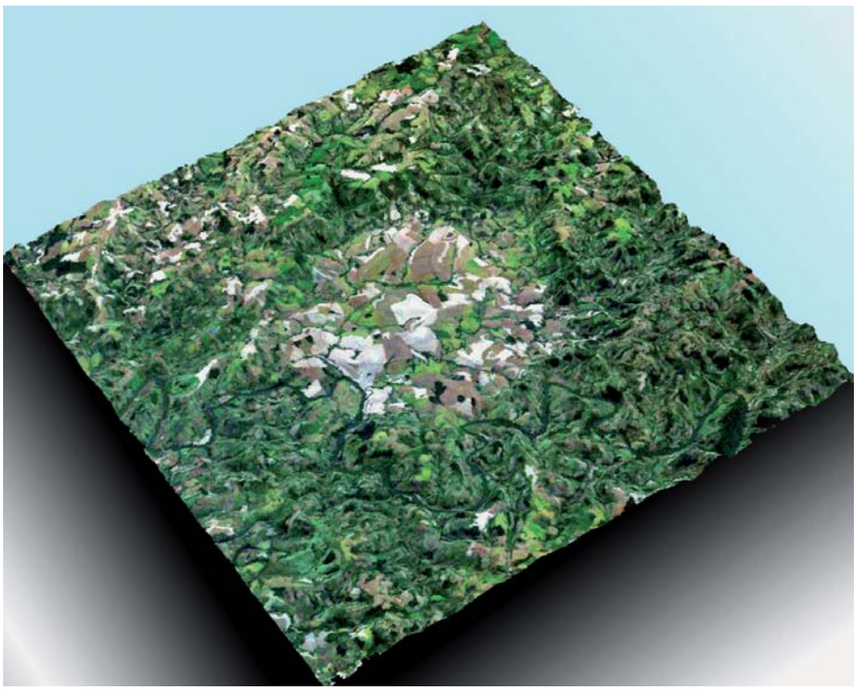


Figura 3 - Vista em perspectiva 3D do Astroblema de Vista Alegre (PR) elaborada a partir de imagem *Landsat5/Thematic Mapper* combinada ao modelo digital de elevação SRTM. Notar os padrões morfológicos contrastantes entre o interior e o exterior da estrutura, bem como as bordas íngremes e o relevo suavemente ondulado do interior da mesma.

Figure 3 - 3D perspective view of the Vista Alegre Astrobleme based on Landsat5/Thematic Mapper data combined with SRTM digital elevation model, exhibiting the contrasting morphological patterns between the interior and the exterior of the structure, as well as the steep inner rim and the gentle undulating relief in its interior.

Já a parte externa exibe relevo notadamente irregular, com desníveis topográficos entre os topos colinosos e os vales muito mais elevados, geralmente da ordem de 200m.

O padrão de drenagem no interior da estrutura, representada pelos córregos Surubim e Quieto, é do tipo radial/dendrítico e centrípeto, fluindo a partir das escarpas de sua borda interna em direção ao interior e depois seguindo no sentido oeste, até desaguar no rio Chopim. Na porção externa a drenagem é do tipo dendrítica.

A Figura 4 mostra uma vista panorâmica de todo o astroblema, tomada a partir da sua borda norte e olhando em direção ao sul. As escarpas das bordas do Astroblema de Vista Alegre exibem inúmeras exposições dos derrames de basalto. Já a parte central do interior do mesmo é recoberta por solos com até alguns metros de espessura, utilizados para agricultura intensiva durante todo o ano, sendo pouco comum a presença de afloramentos rochosos.

A Figura 5 mostra o mapa geológico esquemático do Astroblema de Vista Alegre, baseado nos poucos

Figura 4 - Vista panorâmica do interior do Astroblema de Vista Alegre a partir da sua borda norte, olhando em direção ao sul. Do lado direito e ao fundo podem ser observadas as escarpas íngremes da borda da cratera; ao centro, o relevo de colinas suavemente onduladas que caracteriza o seu interior.

Figure 4 - Panoramic view of the interior of the Vista Alegre astrobleme taken from its northern rim, looking towards south. On the right hand side, in the background, the steep slopes of the inner rim of the crater can be seen, as well as the gentle undulating hills in the center.

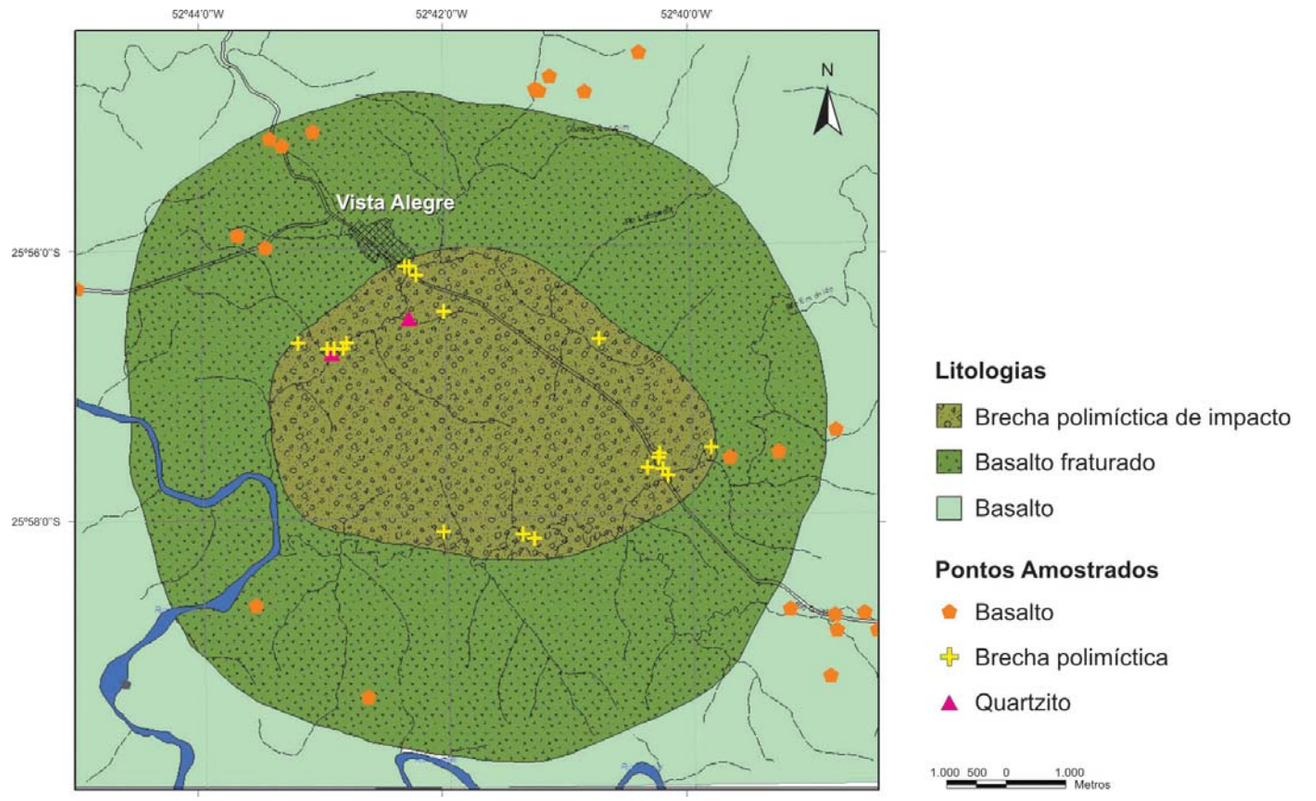


Figura 5 - Mapa geológico esquemático do Astroblema de Vista Alegre.

Figure 5 - Schematic geologic map of the Vista Alegre Astrobleme.

afloramentos rochosos encontrados em seu interior. Na porção interna das escarpas das bordas da estrutura o único tipo de rocha encontrado é representado por basaltos fraturados. Esse fraturamento é relativamente intenso na zona anelar das bordas quando comparado com o fraturamento típicos dos basaltos da Formação Serra Geral observado fora da estrutura.

A porção mais central da estrutura contém brechas polimícticas de impacto (rochas formadas por fragmentos de vários tipos de rocha, e que recebem o nome genérico de "impactitos") que afloram na forma de lajes ao longo dos cursos dos córregos Quieto e Surubim. Estas brechas se encontram bem expostas em uma pequena pedreira na entrada do bairro de Vista Alegre (Fig. 6).

Nesta pedreira encontram-se as melhores exposições desses impactitos. A camada de brechas polimícticas exposta na frente de extração da pedreira tem uma espessura de 7 a 8 metros. Como essas rochas se estendem até o leito próximo do córrego Surubim, uma espessura mínima aproximada de 10-12 m pode ser estimada para a camada nesta porção do astroblema. Como seu contato inferior não é conhecido, a camada pode ter uma espessura maior.

Os afloramentos descontínuos das brechas polimícticas sugerem uma área de ocorrência para estas rochas de cerca de 20 km^2, na porção central da estrutura (Fig. 5). Esses afloramentos encontram-se principalmente ao longo dos cursos de drenagem da área central da cratera, sugerindo que estas brechas formam uma camada presumivelmente contínua e sub-horizontal, subjacente à cobertura de solos atual.

As brechas polimícticas de Vista Alegre exibem, quando frescas, uma cor cinza-metálica muito característica (Fig. 7). Após exposição ao ar por períodos relativamente curtos (alguns meses), essa cor muda para tons de cinza a marrom claro, indicando rápido intemperismo

Figura 6 - Pedreira localizada na entrada do bairro de Vista Alegre, exibindo as melhores exposições da brecha polimíctica de impacto ("impactito") do interior do Astroblema de Vista Alegre.

Figure 6 - Quarry located in the Vista Alegre village, containing the best exposures of the polymict impact breccia (impactites) of the interior of the Vista Alegre Astrobleme.

Figura 7 - Brecha polimíctica de impacto ("impactito"), formada majoritariamente por fragmentos de tamanhos variados de basalto, com contribuição secundária de arenitos e siltitos. A matriz é composta por material extremamente fino derivado de basalto. Quando fresca, a rocha exibe a cor característica cinza-metálica observada na parte central da brecha da foto; ao sofrer intemperismo essa cor muda para marrom-acinzentada, exibida na parte periférica da brecha.

Figure 7 - Polymictic impact breccia (impactite) formed mainly by fragments of diversified sizes of basalt, with secondary contribution from sandstone and siltstone. The matrix comprises extremely fine material derived from basalt. When fresh, this rock exhibits a peculiar steel-grey color, as seen in the central portion of the breccia depicted in this picture; after weathering, this color changes to grey-brown, as seen in the outer portion.

químico. A matriz das brechas é composta por uma massa de fragmentos muito finos, aparentemente derivados dos basaltos da Formação Serra Geral, com textura pulverulenta. Já os fragmentos maiores, com dimensões variando entre poucos milímetros até vários decímetros, são, em sua maioria, de composição basáltica, com contribuição subsidiária de rochas sedimentares (arenitos e siltitos). Alguns exibem formas balísticas e cor preta (Fig. 8), sugerindo a contribuição de material fundido que se solidificou em contato com o ar e foi posteriormente depositado como parte das brechas.

O outro tipo de rocha que ocorre no interior do Astroblema de Vista Alegre é um arenito quartzítico (com porções recristalizadas) de cor branca, exibindo forte cataclase (Fig. 9). Ele ocorre na forma de blocos de dimensões sub-métricas, encontrados em meio aos solos residuais em dois locais próximos ao curso do córrego Surubim (Fig. 5). Como a Formação Serra Geral não contém rochas semelhantes a estas, eles podem ter se originado das unidades estratigráficas subjacentes, ou seja, das formações Botacatú e/ou Pirambóia. Essas duas unidades contêm arenitos de cor branca os quais, se submetidos a condições de pressão e temperatura elevadas, poderiam resultar nos quartzitos observados na parte central do Astroblema de Vista Alegre. Nesta região da Bacia do Paraná, estas duas unidades estratigráficas encontram-se posicionadas várias centenas de metros (~700 m) abaixo da superfície atual, subjacentes ao pacote de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral.A ocorrência desses arenitos próximos à superfície na região central do Astroblema de Vista Alegre sugere a existência de uma estrutura do tipo "núcleo central soerguido" *(central uplift),* típica de crateras meteoríticas do tipo complexa (French, 1998). Esse mecanismo estrutural explicaria a ascensão dessas rochas até a superfície, a exemplo do que ocorre no Domo de Vargeão (Crósta *et al.,* 2005). Contudo, o fato de que os poucos blocos quartzíticos encontrados em Vista Alegre não aparentarem estar *in situ*, aliado à ausência de informações de subsuperfície no interior da estrutura, faz com que esta hipótese necessite ainda ser comprovada. Embora ainda não se conheça a idade precisa de formação da cratera meteorítica de Vista Alegre, o fato de ela ter-se formado sobre as camadas basálticas da Formação Serra Geral, aparentemente já consolidadas, permite estimar uma idade máxima da ordem de 125 Ma, que é a idade mínima dos basaltos (Renne *et al*., 1992; Turner *et al*., 1994; Mantovani *et al*., 1995). Contudo, existe a possibilidade de determinação da idade exata de formação a partir da análise geocronológica de material fundido por impacto e incorporado à brecha polimíctica, como aquele mostrado na Fig. 8. A determinação da idade de formação das crateras de impacto meteorítico é de grande importância, pois permite associá-las a outros eventos marcantes da evolução da superfície da Terra, incluindo os eventos catastróficos de extinção em massa da vida local, regional ou global (dependendo da dimensão do impacto) e/ou a eventos de deposição sedimentar de alta energia (por exemplo, tsunamitos), entre outros.

Figura 8 - Brecha polimíctica com um fragmento de vidro de cor escura com formato balístico. Esse fragmento exibe vesículas e amígdalas, sugerindo tratar-se de material fundido pelo impacto que se solidificou em contato com o ar durante sua trajetória balística, tendo se depositado junto com outros fragmentos para formar a brecha.

Figure 8 - Polymict breccia with a ballistic-shaped glass fragment. The fragment has vesicles and amigdules, suggesting material melted as a consequence of the impact, which solidified in contact with air during its ballistic trajectory, being later deposited together with other fragments to form the breccia.

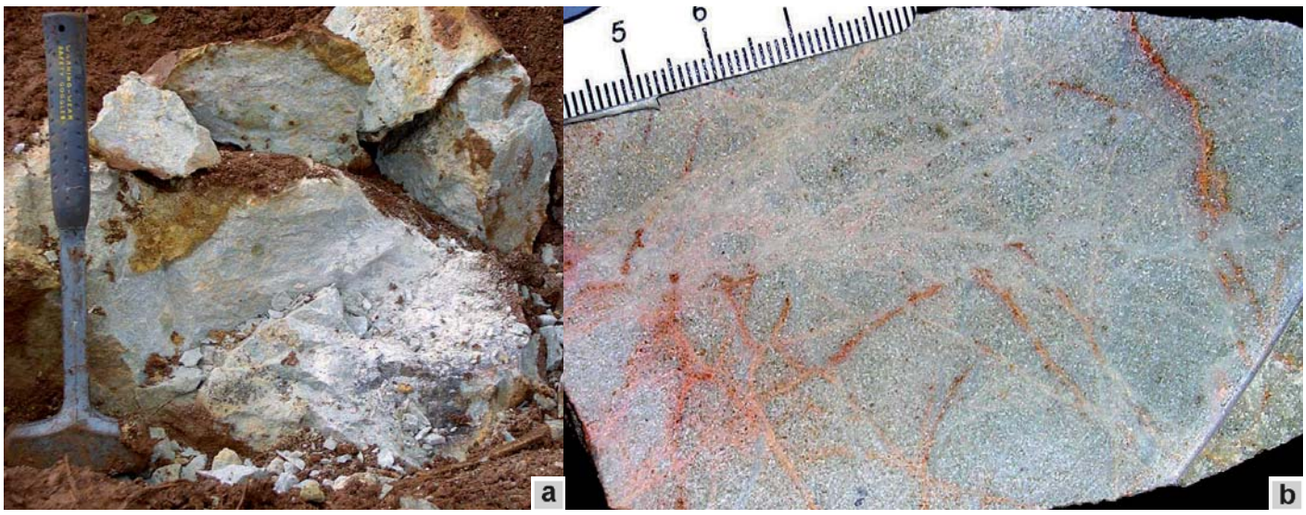


Figura 9 - Arenito quartzítico: **(a)** bloco sub-métrico de arenito quartzítico branco em meio a solo residual; **(b)** arenito quartzítico exibindo forte cataclase.

Figure 9 - Quartzitic sandstone: **(a)** sub-metric block of white quartzose sandstone amid residual soil; **(b)** quartzose sandstone exhibiting intense cataclasis.

SINOPSE SOBRE A ORIGEM, EVOLUÇÃO GEOLÓGICA E IMPORTÂNCIA DO SÍTIO

A determinação da origem de estruturas circulares terrestres suspeitas de serem de natureza meteorítica depende fundamentalmente da identificação de rochas que tenham sido formadas ou deformadas pelo processo de impacto, e que contenham uma ou mais das feições consideradas como diagnósticas desse tipo de processo. French (1998) e French & Koeberl (2010) detalham esse conjunto de feições diagnósticas, que necessitam de condições muito específicas de pressão e temperatura para se formarem e que são denominadas genericamente de "feições de choque", sendo encontradas nos impactitos.

No caso do Astroblema de Vista Alegre as brechas polimícticas que ocorrem em seu interior representam as rochas formadas em decorrência do impacto. Essas brechas são compostas por fragmentos das rochas pré-existentes no local onde ocorreu o impacto meteorítico, que são as lavas basálticas da Formação Serra Geral e possivelmente os arenitos subjacentes a elas, oriundos das formações Botucatu e Pirambóia. A análise dessas brechas por Crósta *et al.* (2004, 2010b) possibilitou a identificação de feições específicas de choque em fragmentos componentes dessas brechas.

As primeiras feições de choque identificadas no Astroblema de Vista Alegre foram pequenos fragmentos de cones de estilhaçamento *(shatter cones)* imersos nas brechas polimícticas (Crósta *et al*., 2004) (Fig. 10). Essas estruturas são feições estriadas de formato cônico que ocorrem geralmente na forma de agregados, com dimensões dos cones individuais variando entre poucos centímetros até vários metros. Os cones de estilhaçamento são formados em decorrência da passagem das ondas de choque provocadas pelo impacto meteorítico pelas rochas. Trata-se da principal feição macroscópica diagnóstica da ocorrência de impacto meteorítico (French, 1998; French & Koeberl, 2010). Posteriormente, Crósta *et al.* (2010b) encontraram fragmentos maiores e agregados de cones de estilhaçamento formados em basalto; esses agregados são compostos por até centenas de cones, com dimensões individuais variando entre 0,5 a 20 cm (Fig. 11). Sua importância histórica e científica decorre do fato de serem os primeiros cones de estilhaçamento formados em rochas basálticas descobertos na Terra.

O segundo tipo de feição de choque identificado em Vista Alegre é um conjunto de feições microscópicas de deformação que ocorrem em cristais de quartzo. Trata-se das feições planares de deformação (*planar deformation features* – PDFs), também denominadas de "lamelas de choque". PDFs são feições cristalográficas de deformação, desenvolvidas em grãos minerais pela passagem das ondas de choque decorrentes de impacto. Eles constituem conjuntos de feições planares paralelas a eixos cristalográficos específicos, formadas sob condições de pressão que variam entre 40 e 500 kbars. No Astroblema de Vista Alegre foram encontrados PDFs em grãos de quartzo provenientes de fragmentos de arenitos imersos nas brechas polimíctica (Fig. 12). Embora relativamente raros alguns desses grãos de quartzo exibem PDFs em até duas direções cristalográficas distintas.

A importância do Astroblema de Vista Alegre se deve não apenas por ela ser uma das raras crateras de impacto meteorítico conhecidas no Brasil e na América do Sul, mas principalmente pelo fato de que o substrato geológico sobre o qual ela se formou ser de composição

basáltica. Embora comum em outros corpos planetários, crateras basálticas são raríssimas na Terra. Existem até agora apenas dois exemplos conhecidos fora do Brasil. O primeiro é Lonar na India (Fredriksson *et al*., 1973; Fudali *et al*., 1980; Osae *et al*., 2005), uma cratera jovem e de pequeno diâmetro (1,9 km) formada nos basaltos do Platô de Deccan no sul da India; o interior de Lonar é preenchido por um lago, o que limita a exposição das rochas basálticas deformadas pelo impacto. Além de Lonar, a única outra cratera basáltica previamente conhecida era a de Logancha na Rússia, formada sobre os basaltos da Sibéria (Feldman *et al.,* 1983; Masaitis 1999), mas que se encontra em estado erosivo avançado sendo que os basaltos foram removidos praticamente por completo. Já no Brasil, além de Vista Alegre, são conhecidas outras duas crateras formadas em basalto, todas elas nos domínios da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná: Domo de Vargeão (Crósta *et al*., 2005) e Cerro do Jarau (Crósta *et al*., 2010a).

As crateras basálticas terrestres, e notadamente as do Brasil, possuem grande importância para os estudos planetários, pois fornecem informações de grande valia para o estudo dos efeitos de impacto em alvos basálticos, servindo como feições análogas às crateras de outros corpos planetários com crosta basáltica, como é o caso de Marte e Vênus (Hagerty & Newsom, 2003; Maloof *et al.,* 2010). Além disso, as condições de fácil acesso e

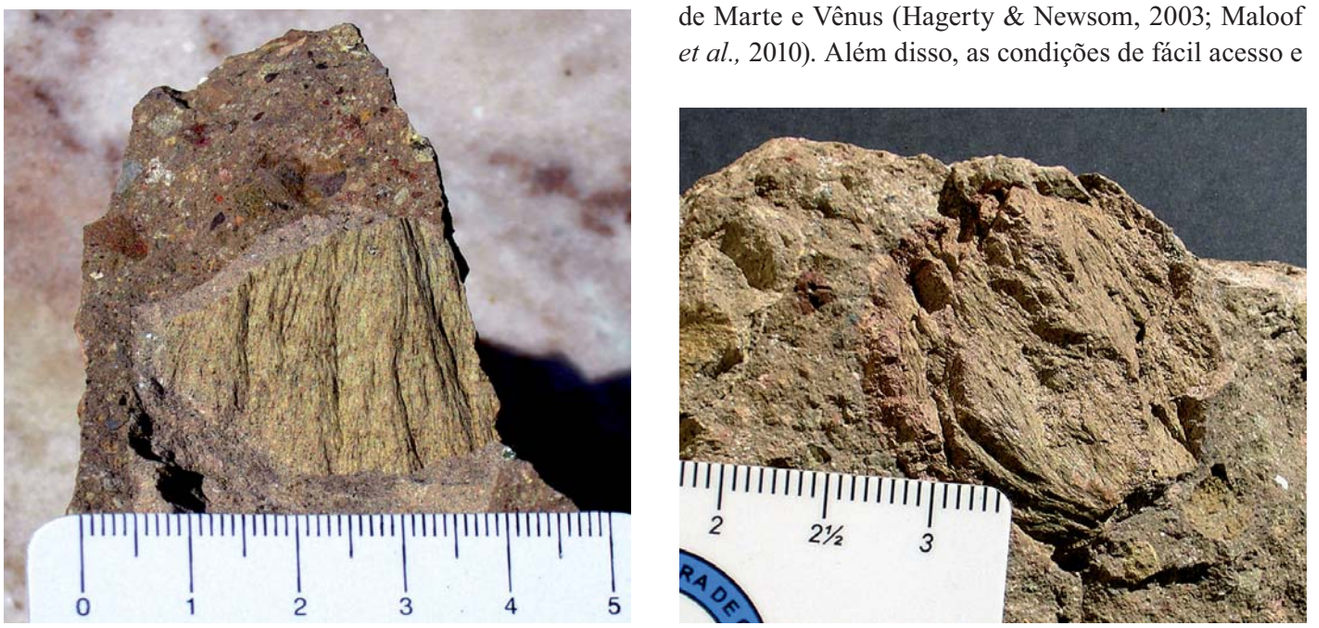


Figura 10 - Fragmentos de cones de estilhaçamento (*shatter cones*) em brechas polimícticas provenientes da pedreira da entrada do bairro de Vista Alegre.

Figure 10 - Fragments of shatter cones within polymict breccias, found in the small quarry near the Vista Alegre village.

Figura 11 - Agregados de cones de estilhaçamento (*shatter cones*) em basalto imersos em brecha polimíctica; amostras provenientes da pedreira da entrada do bairro de Vista Alegre.

Figure 11 - Shatter cone aggregates formed in basalt fragments within the polymict breccia found in the small quarry near Vista Alegre village.

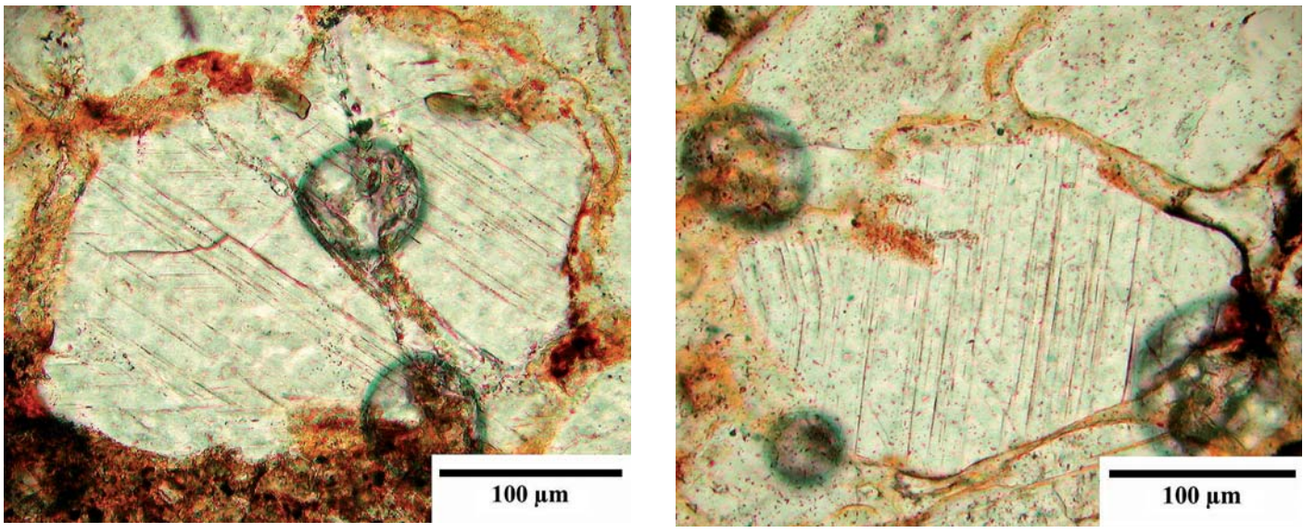


Figura 12 - Fotomicrografias de seções delgadas de fragmentos de arenito imersos na brecha polimíctica do Astroblema de Vista Alegre. Alguns raros grãos de quartzo dos arenitos exibem feições planares de deformação (PDFs) em até duas direções cristalográficas distintas.

Figure 12 - Photographs of thin sections of sandstone fragments embedded in polymict breccia from Vista Alegre. Some rare quartz grains exhibit planar deformation features (PDFs) in up to two sets of crystallographic planes.

boa infraestrutura local do Astroblema de Vista Alegre favorecem sobremaneira o seu uso em pesquisas científicas e também em atividades de divulgação científica e cultural. Até o momento, Vista Alegre possui as primeiras ocorrências conhecidas na Terra de cones de estilhaçamento formados em basalto.

MEDIDAS DE PROTEÇÃO

O Astroblema de Vista Alegre também se destaca no que se refere à adoção de medidas de proteção visando à preservação do importante patrimônio geológico nele contido. Por meio de uma parceria entre a Mineropar – Minerais do Paraná S.A., a Universidade Estadual de Campinas-Unicamp e a Prefeitura Municipal de Coronel Vivida, uma série de ações nesse sentido vem sendo adotadas desde 2006.

Após a descoberta da cratera meteorítica de Vista Alegre em 2004, e por iniciativa conjunta dos seus descobridores (autores deste capítulo) e da Mineropar, a estrutura passou a integrar em 2006 a relação de sítios geológicos de interesse turístico do Estado do Paraná, por meio do Programa de Geoturismo da Mineropar. Em decorrência, foram elaborados materiais de divulgação contendo informações geo-científicas relacionadas à cratera de Vista Alegre. Esses materiais são constituídos por folhetos com informações, mapas, imagens e fotografias, impressos em três línguas (português, espanhol e inglês) e que são distribuídos pela Prefeitura de Coronel Vivida e aos moradores da cidade e visitantes (Fig. 13), e também pela Mineropar. Além dos folhetos, painéis com conteúdo similar foram elaborados pela Mineropar e instalados na sede do município de Coronel Vivida, no bairro de Vista Alegre e na pedreira na entrada do mesmo (Fig. 14).

Outra medida importante na proteção do patrimônio geológico de Vista Alegre foi o tombamento da área da pedreira localizada na entrada do bairro homônimo, e que contém as melhores exposições das brechas polimícticas de impacto e as ocorrências de cones de estilhaçamento. O tombamento foi proposto pela Mineropar e realizado pela Secretaria de Estado de Cultura do Paraná, abrangendo uma área de mais de 10 mil metros quadrados onde afloram as brechas de impacto contendo importantes evidências da natureza meteorítica da estrutura. Durante a cerimônia de tombamento, realizada na Câmara Municipal de Coronel Vivida em 21 de dezembro de 2008, foi lançado um selo postal comemorativo pela Empresa Brasileira de Correios e Telégrafos (ECT) (Fig. 15).

Encontra-se em fase de instalação pela Prefeitura Municipal de Coronel Vivida um mirante situado na borda da cratera, e que irá possibilitar aos visitantes uma visão panorâmica de toda a estrutura, semelhante àquela mostrada na Fig. 4. O mirante deverá receber um painel explicativo, da mesma forma que os demais já instalados em vários pontos do município.

Esse conjunto de ações, único em todo o país, vem contribuindo sobremaneira para a divulgação deste importante sítio geológico e do tema dos impactos meteoríticos, levando assim à conscientização da população local e dos visitantes sobre a importância e a necessidade de preservação desse importante patrimônio geológico.

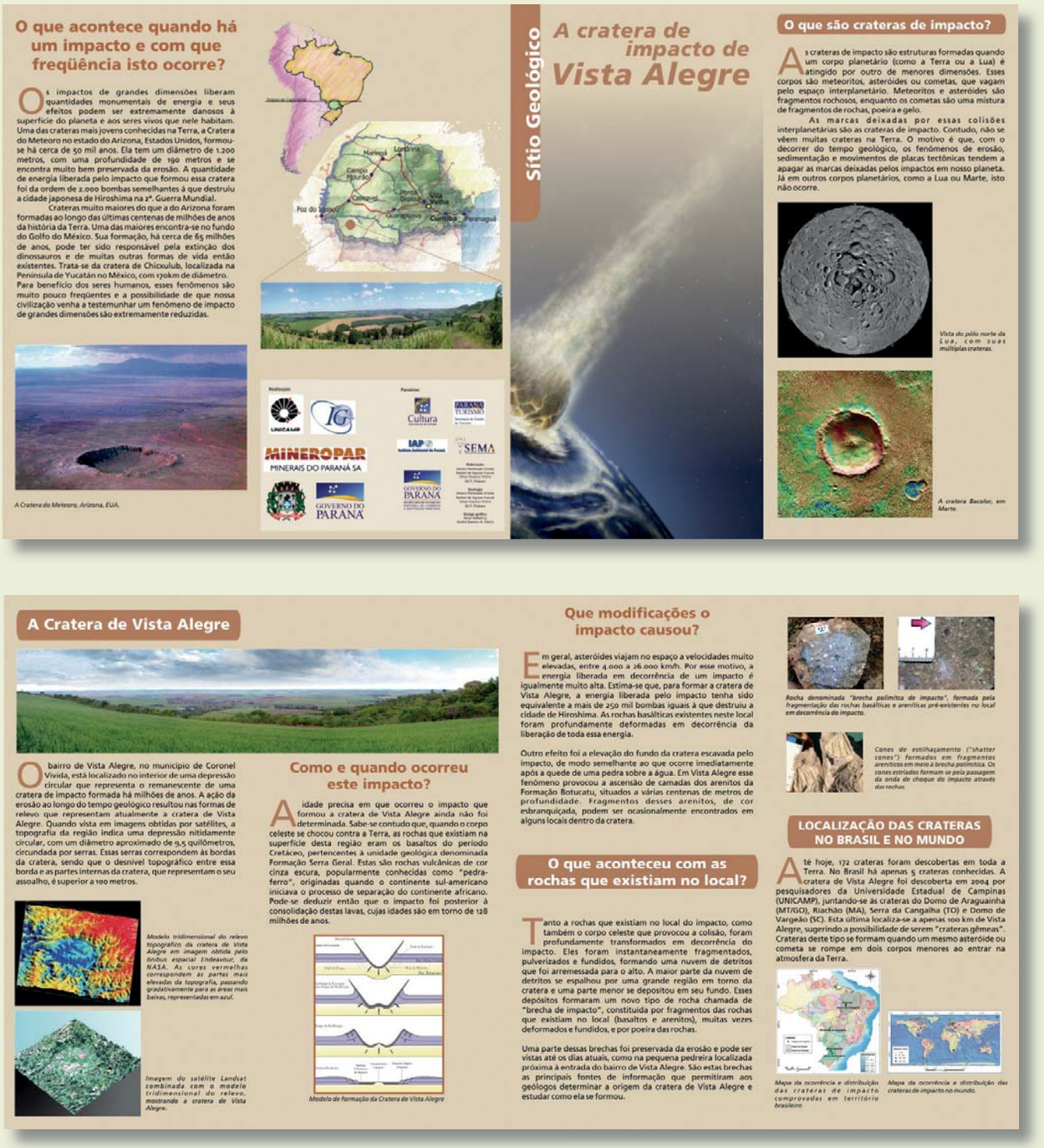


Figura 13 - Folheto explicativo sobre Vista Alegre elaborado em três línguas (português, espanhol e inglês), para distribuição aos moradores da cidade e aos visitantes. O fac-símile acima mostra a versão em português do folheto.

Figure 13 - Folder written in three languages (Portuguese, Spanish and English) with the basic facts about Vista Alegre, for distribution to visitors and residents; the figure shows the Portuguese version.

A área de proteção indicada no Anexo corresponde a uma pedreira inativa onde estão expostas as rochas representativas do processo de impacto meteorítico que formou o astroblema de Vista Alegre. As rochas que aí ocorrem são brechas polimícticas de impacto contendo estruturas de choque do tipo *shatter cones*. Essa pedreira encontra-se tombada desde 2008 pela Secretaria de Cultura do Estado do Paraná.

Figura 14 - Painel explicativo sobre a cratera meteorítica de Vista Alegre. A foto acima registra a cerimônia de inauguração dos painéis em dezembro de 2006, onde aparecem (da esquerda para a direita) o Sr. Pedro Mezomo (Prefeito de Coronel Vivida no período 2005-2008), o Prof. Alvaro P. Crósta (IG-Unicamp) e o Dr. Eduardo Salamuni (Presidente da Mineropar).

Figure 14 - Panel with the basic facts about Vista Alegre meteorite crater. The opening of the panel happened in December 2006, and the picture shows (from left to right) Mr. Pedro Mezomo (Mayor of Coronel Vivida during the period 2005-2008), Prof. Alvaro P. Crósta (IG-Unicamp) and Dr. Eduardo Salamuni (President of Mineropar).

Figura 15 - Selo postal comemorativo lançado durante a cerimônia de tombamento da cratera de impacto de Vista Alegre como parte do patrimônio natural do Estado do Paraná, em dezembro de 2008. Na foto da esquerda aparecem o Sr. Pedro Mezomo, o representante da ECT, a Sra. Vera Mussi Augusto (Secretária Estadual de Cultura do Paraná) e o Prof. Alvaro P. Crósta. O selo mostra o modelo digital de elevação do Astroblema de Vista Alegre da Fig. 2.

Figure 15 - Postal stamp celebrating the declaration of State of Paraná natural heritage status of the Vista Alegre Astrobleme, in December 2008. The picture depicts Mr. Pedro Mezomo, the representative of the Brazilian Post Office (ECT), Ms. Vera Mussi Augusto, the State of Paraná Secretary for Culture, and Prof. Alvaro P. Crósta. The stamp exhibits the digital elevation model of the Vista Alegre Astrobleme also shown in Fig. 2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dietz, R.S. 1961. Astroblemes. *Scientific American*. 205:141-148.

Earth Impact Database. 2008. www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html (acesso em dezembro de 2010).

Crósta, A.P. 1987. Impact structures in Brazil. *In:* Pohl, J. (ed.) *Research in terrestrial impact structures*. Friedrich Vieweg & Sohn, Wiesbaden, pp. 30-38.

Crósta, A.P. 2004. Impact craters in Brazil: How Far We´ve Gotten. *Meteoritics & Planetary Science*, **39**:A-27 (Supplement).

Crósta, A. P.; Kazzuo-Vieira, C.; Schrank, A. 2004. Vista Alegre: a newly discovered impact crater in Southern Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, **39**:A28 (Supplement).

Crósta, A.P.; Kazzuo-Vieira, C.; Choudhuri, A.; Schrank, A. 2005. Astroblema Domo de Vargeão, SC: Registro de impacto meteorítico sobre rochas culcânicas da Bacia do Paraná. *In:* Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet no endereço http://www.unb.br/ig/sigep/sitio114/sitio114.pdf

Crósta, A.P.; Lourenço, F.S.; Priebe, G.H. 2010a. Cerro Jarau, Rio Grande do Sul: a possible new impact structure in southern Brazil. In: R. L. Gibson & W.U. Reimold (Eds.) *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV*. The Geological Society of America Special Paper SPE465, pp. 173-190.

Crósta, A.P.; Koeberl, C.; Furuie, R.A.; Kazzuo-Vieira, C. 2010b. Vista Alegre, southern Brazil: a new impact structure in the Paraná flood basalts. *Meteoritics & Planetary*

Dietz, R.S. 1961. Astroblemes. *Scientific American*. 205:141-148.

Earth Impact Database. 2008. www.unb.ca/passc/ImpactDatabase/index.html (acesso em dezembro de 2010).

Crósta, A.P. 1987. Impact structures in Brazil. *In:* Pohl, J. (ed.) *Research in terrestrial impact structures*. Friedrich Vieweg & Sohn, Wiesbaden, pp. 30-38.

Crósta, A.P. 2004. Impact craters in Brazil: How Far We´ve Gotten. *Meteoritics & Planetary Science*, **39**:A-27 (Supplement).

Crósta, A. P.; Kazzuo-Vieira, C.; Schrank, A. 2004. Vista Alegre: a newly discovered impact crater in Southern Brazil. *Meteoritics & Planetary Science*, **39**:A28 (Supplement).

Crósta, A.P.; Kazzuo-Vieira, C.; Choudhuri, A.; Schrank, A. 2005. Astroblema Domo de Vargeão, SC: Registro de impacto meteorítico sobre rochas culcânicas da Bacia do Paraná. *In:* Winge, M.; Schobbenhaus, C.; Berbert-Born, M.; Queiroz, E.T.; Campos, D.A. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet no endereço http://www.unb.br/ig/sigep/sitio114/sitio114.pdf

Crósta, A.P.; Lourenço, F.S.; Priebe, G.H. 2010a. Cerro Jarau, Rio Grande do Sul: a possible new impact structure in southern Brazil. In: R. L. Gibson & W.U. Reimold (Eds.) *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV*. The Geological Society of America Special Paper SPE465, pp. 173-190.

Crósta, A.P.; Koeberl, C.; Furuie, R.A.; Kazzuo-Vieira, C. 2010b. Vista Alegre, southern Brazil: a new impact structure in the Paraná flood basalts. *Meteoritics & Planetary Science,* **45**:181-194.

Feldman, V. I.; Sazonova, L. V.; Mironov, Yu.; Kapustkina; I. G.; Ivanov, B. A. 1983. Circular structure Longancha as possible meteorite crater in basalts of the Tunguska syneclise. (abstract). In: 14th Lunar and Planetary Science. pp. 191-192.

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

French, B.M. 1998. *Traces of catastrophe: A handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures*. LPI Contribution 954, Lunar and Planetary Institute, Houston, 120 pp. French, B.M.; Koeberl, C. 2010. The convincing identification of terrestrial meteorite impact structures: What works, what doesn´t, and why. *Earth Science Reviews*, **98**:123-170.

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

Furuie, R.A.; Crósta, A.P.; Kazzuo-Vieira, C. 2006. Astroblema de Vista Alegre, PR: Análise das Características Geológicas e das Feições de Impacto. In: XLIII Congresso Brasileiro de Geologia*,* Aracaju, *Anais*, p. 113.

Hagerty, J.J.; Newsom H.E. 2003. Hydrothermal alteration at the Lonar Lake impact structure, India: Implication for impact cratering on Mars. *Meteoritics & Planetary Science,* **38**: 365-381.

Kazzuo-Vieira, C.; Crósta, A. P. 2004. Utilização de modelos digitais de elevação na caracterização de estruturas geológicas: o exemplo dos astroblemas de Vargeão (SC) e Vista Alegre (PR). In: XLII Congresso Brasileiro de Geologia*,* Araxá. *Anais* (em CD-ROM).

Maloof, A.C.; Stewart, S.T.; Weiss, B.P.; Soule, S.A.; Swanson-Hysell, N.L.; Louzada, K.L.; Garrick-Bethell, I.; Poussart, P.M. 2010. Geology of Lonar Crater, India. *Geological Society of America Bulletin*, **122**:109-126.

Mantovani, M.S.M.; Stewart, K.; Turner, S.; Hawkesworth, C.J. 1995. Duration of Paraná magmatism and implications for the evolution and source regions of continental flood basalts. *Anais da Academia Brasileira de Ciências,* **67**: 163-169.

Masaitis, V.L. 1999. Impact structures of northeastern Eurasia: the territories of Russian and adjacent countries. *Meteoritics & Planetary Science,* **34**: 691-711.

Osae, S.; Misra, S.; Koeberl, C.; Sengupta, D.; Gosh, S. 2005. Target rocks, impact glasses, and melt rocks from the Lonar impact crater, India: Petrography and geochemistry. *Meteoritics & Planetary Science,* **40**:1473-1492.

Renne, P.; Ernesto, M.; Pacca, I.G.; Coe, R.S.; Glen, J.M.; Prévot, M.; Perrin, M. 1992. The age of Paraná flood volcanism, rifting of Gondwanaland, and the Jurassic-Cretaceous boundary. *Science,* **258**: 975-979.

Riccomini, C.; Turcq, B.J.; Ledru, M.; Sant'Anna, L.G.; Ferrari, J. A. 2005. Cratera de Colônia, SP -Provável astroblema com registros do paleoclima quaternário na Grande São Paulo. *In:* Winge M., Schobbenhaus C., Berbert-Born M., Queiroz E.T., Campos D.A., Souza C.R.G. (eds.) *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Publicado na Internet no endereço http://www.unb.br/ig/sigep/sitio116/sitio116.pdf

Turner, S.; Regelous, M.; Kelley, S.; Hawkesworth, K.; Mantovani, M.S.M. 1994. Magmatism and continental break-up in the South Atlantic: high precision ^{40}Ar-^{39}Ar geochronology. *Earth and Planetary Science Letters,* **121**:333-348.

* Publicado na Internet em 18/01/2011 no endereço http://www.unb.br/ig/sigep/sitio044/sitio044.pdf

[1]Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP
Caixa Postal 6152 13083-970 Campinas SP

[2]Petróleo Brasileiro S.A.
Av. Elias Agostinho 665 27913-350 Macaé RJ

[3]Petróleo Brasileiro S.A.
Av. República do Chile, 330 20.031-170
Rio de Janeiro RJ

[1a] alvaro@ige.unicamp.br ;
[2b] rafaelfuruie@gmail.com ;
[1c] aschrank@ige.unicamp.br ;
[3d] kazzuo@gmail.com

ALVARO PENTEADO CRÓSTA

Graduou-se em Geologia pela USP (1977), concluiu o mestrado no Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE, 1982) e o doutorado no Imperial College, University of London (1990). Realizou estágios de pós-doutorado no Desert Research Institute, Universidade de Nevada, Reno, na Universidade de Viena, Áustria, e no Museu de História Natural/Universidade Humboldt na Alemanha. É Professor Titular do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas e Bolsista de Produtividade em Pesquisa do CNPq. Na UNICAMP foi Chefe de Departamento, Coordenador de Pós-Graduação, Diretor do Instituto de Geociências Chefe-Adjunto de Gabinete do Reitor e Pró-Reitor de Desenvolvimento Universitário. Atua nas áreas de Sensoriamento Remoto e Exploração Mineral e de Geologia Planetária/Crateras de Impacto Meteorítico.

RAFAEL DE AGUIAR FURUIE

Graduou-se em Geologia pela UNICAMP (2006), fez mestrado em Geologia pela USP (2009). Atualmente é geólogo na Petrobras atuando na modelagem de reservatórios carbonáticos.

CÉSAR KAZZUO-VIEIRA

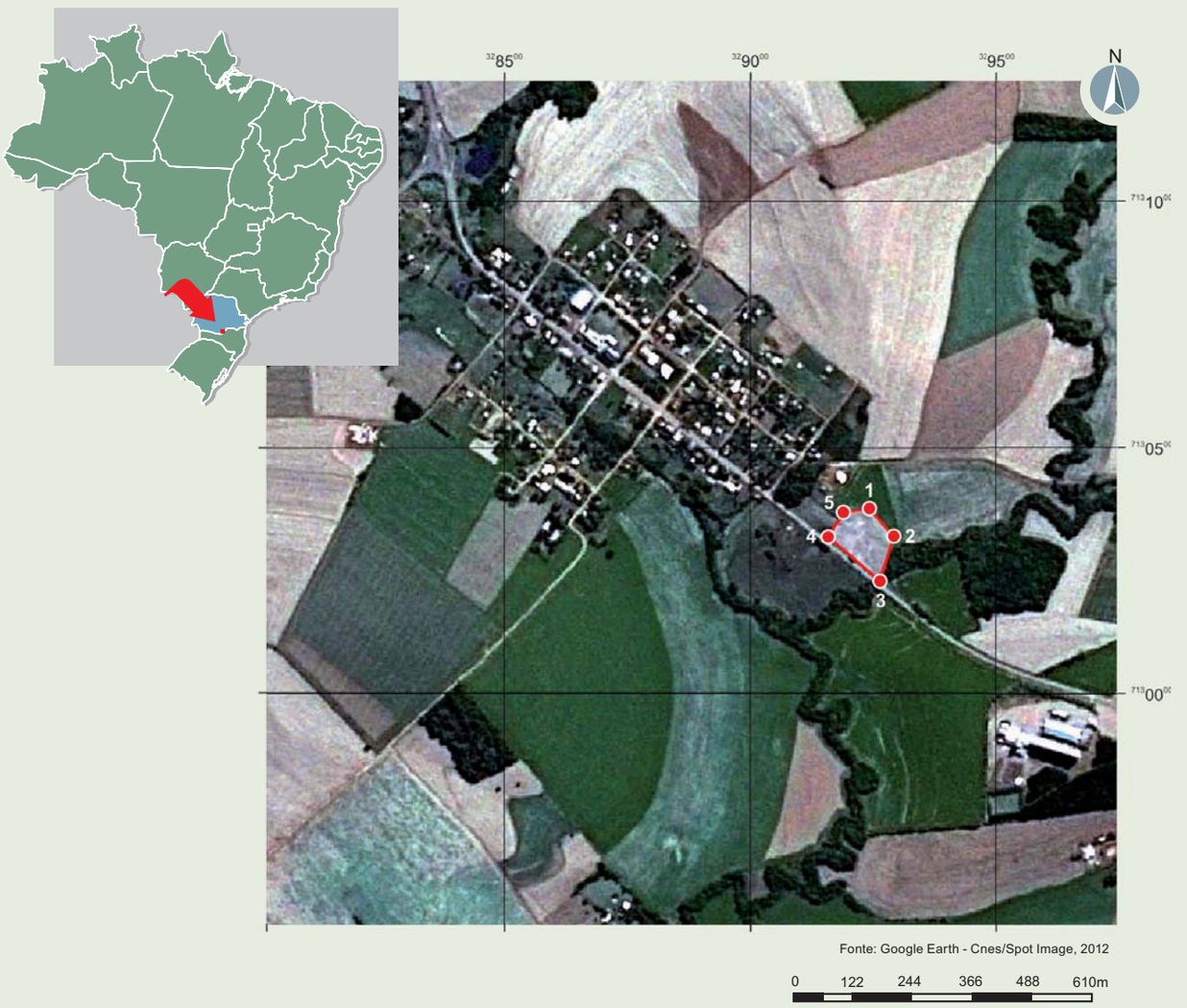
Graduou-se em Geologia pela Universidade Estadual de Campinas (2003), fez especialização em Geofísica e Geologia de Exploração de Petróleo pela UFRJ/Universidade PETROBRAS (2007), especialização em Interpretação Exploratória pela Universidade PETROBRAS (2008) e mestrado em Geociências pela Unicamp (2009). Atualmente é geofísico de interpretação exploratória da PETROBRAS atuando no processamento e interpretação digital de dados de sensoriamento remoto, aerogeofísicos e sísmicos, com ênfase em aplicações geológicas.

ALFONSO SCHRANK

Graduou-se em Geologia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1974), fez especialização em Sciences de Matières Premières Minerales et Energetiques pela Université de Paris XI (Paris-Sud) (1979), doutorado em Geociências pela Université de Paris XI (Paris-Sud) (1982) e pós-doutorado pela Université du Quebéc a Montréal (1996). É Professor-Associado da Universidade Estadual de Campinas. Atua nos seguintes temas: greenstone belts, komatiitos, petrologia de rochas vulcânicas e geocronologia U-Pb.

SIGEP 044 - ASTROBLEMA DE VISTA ALEGRE, PR

PROPOSTA DA ÁREA DE PROTEÇÃO



O polígono em vermelho, indica a área de proteção proposta, localizada a sudeste do bairro rural de Vista Alegre, município de Coronel Vivida, PR.

VÉRTICE	COORDENADAS GEOGRÁFICAS	
1	25°56'06,73"S	52°42'18,66"W
2	25°56'08,57"S	52°42'16,84"W
3	25°56'11,53"S	52°42'17,96"W
4	25°56'08,57"S	52°42'21,71"W
5	25°56'07,08"S	52°42'20,52"W

Polígono da área de proteção proposto por: Alvaro Penteado Crósta (alvaro@ige.unicamp.br)

Data da proposta: 01/07/2012