

Estratigrafia e estrutura do Cerro do Jarau: nova proposta

Stratigraphy and structure of Cerro Jarau: new proposal

Joana Paula Sánchez^{1*}, Luiz Sérgio Amarante Simões²,
Lee Ernest Balster Martins³

RESUMO: A estrutura do Cerro do Jarau está localizada no Estado do Rio Grande do Sul, nas proximidades de Quaraí, divisa com o Uruguai. É uma estrutura circular de aproximadamente 8 km de diâmetro, cujos dados geológicos apontam para uma origem por impacto meteorítico. Está situada na Bacia do Paraná e compreende uma área de afloramento de arenitos na porção central, circundada por basaltos da Formação Serra Geral. Nos trabalhos publicados, o arenito da porção central é interpretado como pertencente à Formação Botucatu, soerguido em meio aos basaltos da Formação Serra Geral, correspondendo, para muitos autores, a uma feição dômica. O objetivo do presente trabalho é apresentar novos dados sobre a estratigrafia e estrutura do Cerro do Jarau, que mostram que os arenitos estão estrutural e estratigraficamente sobrepostos aos basaltos e ambas unidades exibem mergulhos centripetos. A estrutura do Cerro do Jarau é, portanto, uma bacia com a porção central rebaixada, e não um domo como antes admitido.

PALAVRAS-CHAVE: estratigrafia; estrutura; Cerro do Jarau; cratera de impacto.

ABSTRACT: The Cerro do Jarau structure is located near the town of Quaraí, in the Rio Grande do Sul state, close to the international boundary with Uruguay. This circular feature has a diameter with approximately 8 km, presents some evidence of an origin by a meteoritic impact. It is located in the Paraná Basin and characterized by a central area with occurrence of sandstone surrounded by basalts of Serra Geral Formation. Previous works considered the structure as a dome-shaped feature. The objective of this paper is to present new data on the stratigraphy and structure of the Cerro Jarau, showing that the sandstones are structurally and stratigraphically overlying the basalts and both units exhibit centripetal dips. The structure of Cerro Jarau is therefore a basin-like feature and not a dome as admitted in previous studies.

KEYWORDS: stratigraphy; structure; Cerro do Jarau; impact crater.

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - IGCE-UNESP, Rio Claro (SP), Brasil. E-mail: joana_paula_sanchez@yahoo.com.br

²Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - IGCE-UNESP, Campus de Rio Claro (SP), Brasil. E-mail: lsimoaes@rc.unesp.br

³Graduação em Geologia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - IGCE-UNESP, Rio Claro (SP), Brasil. E-mail: leebalster@uol.com.br

*Autor correspondente

Manuscrito ID: 30060 Recebido em: 21/11/2013. Aprovado em: 02/06/2014.

INTRODUÇÃO

A estrutura do Cerro do Jarau está localizada no Estado do Rio Grande do Sul, próximo à fronteira com o Uruguai, a cerca de 20 km a NW da Cidade de Quaraí. Possui forma circular, definida por cristas sustentadas por arenitos, em geral silicificados, que se destacam na topografia contrastando com a região plana dos Pampas Gaúchos. Foi reconhecida inicialmente por Grehs (1969) que a interpretou como um domo estrutural formado por tectônica após a deposição da Formação Botucatu e antes dos derrames basálticos da Formação Serra Geral. Trabalhos posteriores, como os de Moreira (1980), Lisboa *et al.* (1987), Schuck e Lisboa (1988), Lourenço (2007), Crósta *et al.* 2010 e Philipp *et al.* (2010) ressaltaram que a estrutura circular se destacava na região, com a ocorrência de arenitos da Formação Botucatu soerguidos no centro e basaltos da Formação Serra Geral nas suas bordas. Alguns autores confirmaram que a estrutura se tratava de uma cratera de impacto meteorítico (Lourenço 2007; Crósta *et al.* 2010 e Philipp *et al.* 2010).

Embora as estruturas de impacto meteorítico sejam comuns e facilmente reconhecidas em diversos corpos do sistema solar (ex. Lua, Marte, Vênus), são feições relativamente raras e de mais difícil identificação na Terra, devido à dinâmica da crosta terrestre, causada pelos processos de alteração, erosão, deposição, bem como pela reciclagem crustal decorrente da tectônica de placas. Dessa forma, o processo de impacto de meteoritos foi importante ao longo de toda a evolução geológica da Terra, principalmente nos estágios iniciais de formação do sistema solar, quando eram mais frequentes (French 1998). Na Terra são reconhecidas 184 estruturas de impacto. Dessas, somente oito estão no Brasil, dentre as quais a do Cerro do Jarau. Devido ao baixo potencial de preservação dessas estruturas e sua importância na evolução do planeta, seu estudo é fundamental para a compreensão da evolução da Terra.

O presente trabalho, produto de mapeamento detalhado, visa apresentar novos dados de cartografia geológica que, ao contrário do que tem sido proposto para a área, mostram que o pacote de arenitos da porção central da estrutura do Cerro do Jarau está sobreposto aos basaltos situados em seu entorno e que os planos de estratificação destas duas unidades exibem mergulhos preferenciais para o centro da estrutura, configurando uma bacia.

Contexto geológico e trabalhos anteriores

A área do Cerro do Jarau situa-se na Bacia do Paraná, onde ocorrem arenitos da Formação Botucatu (neojurássico a eocretáceo), rochas basálticas da Formação Serra Geral (eocretáceo), estas com idade de magmatismo inicial

em 134,3 +/- 0.8 Ma (Janasi *et al.* 2011), além de depósitos aluviais e coluviais recentes.

O primeiro mapeamento da área de estudo foi realizado por Grehs (1969). A partir da interpretação de fotografias aéreas, o autor identificou anomalias no padrão das redes de drenagem e da morfologia estabelecidos em rochas basálticas, distribuindo-se de forma elíptica ao redor do Cerro do Jarau. Sugeriu que os derrames se amoldaram à paleogeomorfologia de uma estrutura dômica formada pelos arenitos, cujos estudos geológicos posteriores demonstraram tratar-se de um domo estrutural. Este alto seria resultante de esforços tectônicos posteriores ao Arenito Botucatu e anteriores aos derrames basálticos da Formação Serra Geral.

Grehs (1969) considerou os arenitos no centro da estrutura como pertencentes à Formação Rio Pardo, sotoposta à Formação Botucatu. No mesmo trabalho, descreveu arenitos eólicos da Formação Botucatu circundando a Formação Rio Pardo e também quartzitos em cristas morfológicamente escarpadas, considerados como resultantes de metamorfismo da Formação Botucatu.

Moreira (1980) descreveu a feição circular do Cerro do Jarau como sendo um domo, com seu núcleo rebaixado por colapso. Segundo Moreira (1980) a drenagem externa mostra um padrão radial centrífugo; internamente, além de apresentar maior densidade, a drenagem converge para o centro, com exceção da borda sul da estrutura. O autor interpretou os arenitos da parte central da estrutura como fluviais, correlacionando-os com a Formação Pirambóia, e os arenitos da borda como eólicos e pertencentes à Formação Botucatu. Já os diques básicos e derrames basálticos foram relacionados à Formação Serra Geral, localmente com arenitos intertrapianos, estando os derrames sobrepostos aos arenitos das formações Botucatu e Pirambóia. Moreira (1980) definiu a estrutura como um domo estrutural com colapso central, no qual, devido à atuação de processos secundários, as lavas basálticas afetadas pelo levantamento da estrutura foram erodidas. Concluiu que a feição está encaixada em falhas de direção noroeste, originadas pela reativação de antigas zonas de fraqueza do embasamento, que propiciaram a intrusão de um corpo que não rompeu o teto. Comparou em o Cerro do Jarau com o Domo do Vargeão em Santa Catarina, posteriormente comprovado como uma cratera de impacto (Kazzuo-Vieira *et al.* 2009).

Lisboa *et al.* (1987) realizaram reconhecimento geológico da região e definiram duas unidades litoestruturais: a Bacia da Barra do Quaraí Mirim, caracterizada pela associação de "cuestas" e basaltos e a estrutura falhada sinforme do Jarau. A estrutura falhada sinforme é representada pela associação de cristas isoclinais, aplainamentos e depressões periféricas, esculpidos em cataclastos, arenitos silicificados, basaltos e arenitos pouco cimentados; foi classificada como

uma estrutura anelar falhada com basculamentos centrípetos, tendo como centro a depressão da bacia do Nhanduvaí e como provável periferia as planícies aluviais do Garupá e Quaraí Mirim. Descrevem que as atitudes das camadas e dos planos de falha contradizem a original denominação de Domo do Jarau. Perceberam que os mergulhos das camadas indicavam uma conformação em bacia estrutural, embora tenham considerado que o afloramento de camadas mais antigas no centro da estrutura não permitia tal denominação. Foram também pioneiros ao levantar a hipótese de que a estrutura seria uma astroblema.

Schuck e Lisboa (1988) descreveram que a estrutura anelar falhada do Jarau é uma forma anômala em relação às formas e padrões estruturais que ocorrem na região. Atribuíram à estrutura idade jurocretácea, colocando em questão a origem por impacto de meteorito.

Crósta *et al.* (2010) descreveram a feição circular de 13,5 km, com cristas de arenitos silicificados que formam um “anel” com 200m de elevação em relação aos pampas do Rio Grande do Sul. Relatam que a origem da estrutura vem sendo debatida há décadas, mas que ainda não surgiram evidências suficientes para a sua comprovação como uma cratera de impacto. Entretanto, por terem encontrado estruturas semelhantes à *shatter cones* (que se tratam de estruturas tipo rabo de cavalo em basaltos), feições planares em quartzo e ocorrência de brechas, postularam que deva se tratar de uma estrutura de impacto de meteorito. Propuseram que a estrutura tenha sido formada no Mesozóico, pós-Formação Serra Geral. Apresentaram um mapa com três unidades litoestratigráficas, da base para o topo, representadas por arenitos da Formação Guará, arenitos da Formação Botucatu e basaltos da Formação Serra Geral, com morfologia de uma cratera de impacto complexa com núcleo central soerguido, ocupado pelos arenitos. Também citaram três litotipos de ocorrências localizadas: brechas monomíticas de arenito, brechas de basalto e brechas polimíticas, estas contendo variados fragmentos de basalto e arenito com aproximadamente 0,5 a 3 cm exibindo feições planares (PFs), com matriz clástica e grãos cominuídos de quartzo.

Philipp *et al.* (2010) descreveram que o núcleo central da estrutura possui 7 km de diâmetro e está soerguido, apresentando 160 m de elevação nas suas bordas mais elevadas. Relataram a presença anéis concêntricos e forma de meia lua, com a parte norte mais elevada e a sul erodida. Interpretaram estas feições como remanescentes do processo erosivo de uma cratera de impacto. A partir das rochas afetadas, indicaram que a idade da cratera seria pós-Cretáceo, pelos efeitos do impacto sobre as rochas sedimentares da Formação Botucatu e basálticas da Formação Serra Geral. Em relação à estrutura da área, concluíram que o local apresenta uma evolução complexa resultante do impacto de um

meteorito, com soerguimento do núcleo, este vinculado com a geração, em torno da porção central da cratera, de zonas de cisalhamento rúpteis, zonas de falhas distensivas e sistemas de fraturas associados.

Dessa forma, os trabalhos mais recentes sobre a área interpretam que as rochas foram soerguidas na porção central da estrutura expondo unidades inferiores como a Formação Botucatu, e para alguns autores também a Formação Guará, em meio aos basaltos da Formação Serra Geral. Além disso, consideram que a estruturação geral da área deve corresponder a uma feição dômica.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo apresentar uma nova proposta de organização estratigráfica e estrutural do Cerro do Jarau, mostrando que os arenitos estão estrutural e estratigraficamente sobrepostos aos basaltos e que o arranjo espacial dessas duas unidades define uma estruturação em forma de bacia, indicando o rebaixamento da porção central da estrutura.

Não é objetivo deste trabalho discutir a gênese da estrutura, se decorrente ou não do impacto de um bólido extraterrestre.

Mapa geológico da estrutura do Cerro do Jarau

Foram realizados trabalhos de campo para levantamento detalhado de dados estruturais e aprimoramento da cartografia geológica. Foram descritos 852 afloramentos, coletadas cerca de 300 amostras e confeccionadas 131 lâminas petrográficas. Este acervo de dados conduziu a um mapa geológico (Fig. 1) da região do Cerro do Jarau que requer uma reinterpretação da estrutura e da estratigrafia local em relação àquela que vem sendo adotada para esta área.

Dois aspectos principais contrastam com os trabalhos cartográficos anteriores: 1) observações de campo e o traçado detalhado dos contatos, juntamente com a análise da regra dos “Vs” (Lisle 2004), indicam que o pacote de arenitos que ocorre na porção central da estrutura encontra-se sobreposto aos basaltos adjacentes; 2) os planos de acamamento, medidos nos arenitos, mostram mergulhos para o centro da estrutura, configurando uma forma côncava, tipo bacia, e não forma convexa, esperada para um domo.

Foram individualizadas três unidades litoestratigráficas: a) basaltos com intercalações locais de brechas ígneas basálticas e arenitos intertrapianos; b) arenitos médios a grossos estratificados; e c) arenitos laminados (Fig. 1).

Os basaltos pertencem à Formação Serra Geral e, embora sejam em geral homogêneos, localmente, apresentam diferenças composicionais e/ou texturais. O contato entre esta

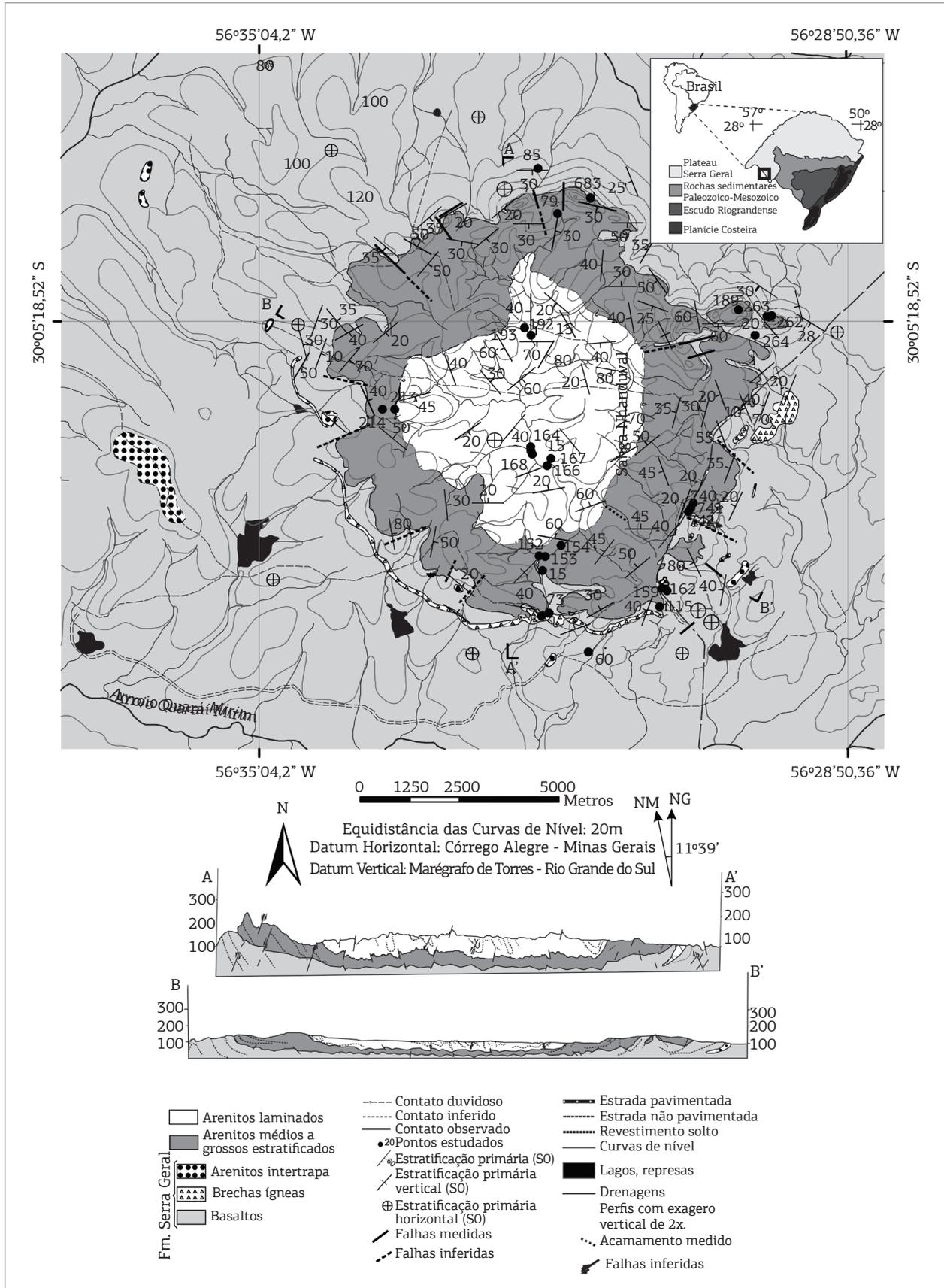


Figura 1. Mapa geológico do Cerro do Jarau, com indicação de alguns locais estudados que são citados no texto. A ordenação dos litotipos da Formação Serra Geral na legenda não possui conotação estratigráfica.

unidade e os arenitos é relativamente fácil de ser identificado devido aos contrastes da composição e da cor dos solos (arenoso esbranquiçado para os arenitos e argiloso avermelhado para os basaltos) e também pela frequência relativamente alta de afloramentos. Desta forma, percebeu-se que os basaltos encontram-se estratigraficamente abaixo dos arenitos. Essa relação é clara em diversos afloramentos estudados expondo o contato entre esses litotipos, sempre com o arenito diretamente sobre o basalto (Figs. 2 e 3).

Como exemplo de observação direta do arenito sobre o basalto, pode-se citar, na porção SE da área, o conjunto de afloramentos ao longo da rodovia RS-377 e adjacências (locais 115, 159, 162, 740, 741 e 742, Fig. 1), nos quais os arenitos ocorrem sobre o basalto. Na porção NE da área (locais 261 a 264 e 683) o arenito ocorre nas cristas mais elevadas e, apesar da presença de conspícuas fraturas sub-verticais, percebe-se o acamamento com mergulhos suaves para sul e sudoeste. O contato com o basalto contorna toda a crista definindo assim um morro testemunho sustentado pelo arenito (Fig. 1). Na porção sul (aproximadamente, entre

os locais 15 e 72) o contato foi bem detalhado ao longo da Sanga Nhanduvaí e seus afluentes, mostrando que delineaia reentrâncias ao longo dos córregos afluentes com afloramento do basalto nos leitos das drenagens e ocorrência do arenito nas encostas. Além disso, na Sanga Nhanduvaí, o contato configura um “V” com vértice voltado para norte, indicando um mergulho suave predominantemente para norte, com o arenito acima do basalto. Também na porção oeste, nos locais mapeados com maior detalhe, a regra dos “Vs” (Fig.1) indica que o arenito encontra-se sobreposto ao basalto e que o contato apresenta no geral mergulho para o interior da estrutura.

O contato entre os dois pacotes de arenitos é mais difícil de ser identificado. Contudo, a interpretação a partir dos afloramentos destas duas unidades indica, pela regra dos “Vs” (Fig.1), que a unidade de arenito com intercalação de arenito laminado encontra-se sobreposta à de arenitos médios a grossos estratificados e que o contato apresenta mergulhos suaves para o interior da estrutura, reproduzindo uma geometria geral semelhante à do contato entre os arenitos



Figura 2. Arenitos na parte superior da foto sustentando a crista e sobrepostos a basaltos que ocorrem na parte inferior da foto. A linha preta indica a posição do contato. Borda setentrional da estrutura, vista de norte para sul.



Figura 3. Nos altos topográficos, afloramentos de arenito definindo a crista e, em primeiro plano, pasto e solo vermelho com afloramentos localizados de basalto, contornando a crista de arenito, indicando que o basalto encontra-se sotoposto ao arenito. A linha preta indica o contato. Vista da estrada RS-377 de leste para oeste.

médios a grossos estratificados e o basalto. Apesar da existência de perturbações locais no acamamento, suas atitudes corroboram esta interpretação.

Desta forma, com base na observação dos afloramentos e na cartografia geológica, conclui-se que o empilhamento estratigráfico na região estudada é dado por basalto na base, seguido por arenitos médios a grossos estratificados e, no topo, os arenitos laminados.

Litotipos

Detalhes sobre a petrografia dos litotipos que compõem as três unidades individualizadas no mapa geológico podem ser encontrados nos trabalhos de Lourenço (2007), Crósta *et al.* (2010) e Philipp *et al.* (2010). Por isso, apresenta-se aqui apenas uma breve síntese dos principais aspectos petrográficos.

Os basaltos observados mostram-se em geral maciços; porém, em alguns locais, identificam-se variações texturais definindo planos que devem indicar contatos de distintos derrames, com espessuras métricas (Fig. 4). Normalmente, apresentam matriz afanítica a fanerítica com fenocristais de plagioclásio e augita e raros cristais de magnetita e rutilo. Entre os distintos derrames de basalto, ocorrem brechas ígneas, com presença de fragmentos de basaltos distintos,

subarredondados e com matriz fina normalmente avermelhada. Localmente, o basalto apresenta texturas variadas, com vesículas, exibindo fenocristais com bordas de reação. A presença de vidro vulcânico na matriz é frequente nas brechas ígneas e pouco frequente nos basaltos.

As brechas ígneas são encontradas em afloramentos contínuos de até 20 m de comprimento, como no local CJ 60, apresentam textura variada, com clastos de até 30 cm de eixo maior, como no local CJ 73 (Fig. 5). O mapeamento desses afloramentos ao longo da área (Fig.1) indica que estas rochas formam uma camada extensa, intercalada nos basaltos, com espessura entre 2 e 6 metros, possivelmente contínua e acompanhando o contorno de toda ou quase toda a estrutura circular de Cerro do Jarau. Localmente, na porção SW da área, foi identificada uma segunda camada dessa rocha, apresentando menor espessura (aproximadamente 1 m) e em posição estratigráfica superior. Essas rochas foram interpretadas por outros autores (Crosta *et al.* 2010; Lourenço 2007) como brechas de impacto. Entretanto, a textura ígnea da matriz, a ausência de feições cataclásticas e a geometria de camada concordante com os basaltos indicam que são produto do processo vulcânico.

Localmente, associados aos basaltos, são encontrados arenitos de cores bege a ocre, silicificados, sob a forma de



Figura 4. Sucessão de derrames de basalto, identificados por descontinuidades de mergulhos suaves, em geral separados por brechas magmáticas de topo de derrame. Local CJ-263, visada para sul.



Figura 5. Vista em planta de brecha vulcânica com clastos, em sua maioria de rochas vulcânicas, de até 30 cm de diâmetro.

lentes alongadas e blocos, com espessuras inferiores a dois metros, intercaladas e concordantes com os derrames de basalto. As ocorrências mais expressivas foram individualizadas no mapa geológico (Fig. 1).

A unidade de arenitos médios a grossos estratificados, em geral silicificados, sustenta as cristas de maior elevação local. É constituída por camadas decimétricas a métricas e são comuns estratificações cruzadas de médio porte. Possuem granulação média a grossa e apresentam localmente estratificação com gradação normal. Na porção basal desta unidade, são encontrados arenitos conglomeráticos com seixos de 1 a 6 cm esparsos em matriz de areia fina a média. Os seixos em geral são de arenito e, em menor quantidade, também de basalto, estes sempre angulosos. Embora em geral sejam encontrados na forma de blocos, os poucos afloramentos e os tamanhos dos blocos sugerem que ocorrem como raras camadas decimétricas.

A unidade de arenitos laminados ocorre no centro da estrutura. A laminação é definida pela alternância de lâminas

com grãos de quartzo finos a médios e lâminas com grãos de quartzo finos e argila. Ocorrem intercalações de pacotes com até 2 metros de arenitos finos a grossos estratificados. Localmente, ocorrem camadas formadas essencialmente por argila, indicando oscilação no processo de sedimentação entre tração e decantação.

As estratificações cruzadas nos arenitos em geral apresentam-se em posição normal (locais CJ 214, 213, 189; 79 e 85, Fig. 6A); porém, localmente, onde as camadas mostram-se subverticalizadas, foram identificadas estratificações cruzadas invertidas (locais CJ 152; 153; 154, Fig. 6B).

A espessura das unidades compostas por arenito é difícil de ser estimada com precisão devido à frequente variação e irregularidade da atitude do acamamento. Entretanto, com base na seção geológica (Fig. 1) e considerando-se os possíveis erros na definição dos contatos e atitude geral da estratificação, estima-se que as duas unidades de arenito devem totalizar 80 a 150 m de espessura.

Padrão estrutural

As estruturas observadas na área correspondem, principalmente, aos planos de estratificação primária, juntas e, mais localmente, dobras e falhas.

A melhor percepção da estrutura da área é dada pela configuração dos contatos entre as unidades mapeadas. Conforme discutido acima, os contatos mostram mergulhos suaves para o interior da estrutura circular (Fig. 7) e indicam que os arenitos encontram-se sobrepostos aos basaltos. As medidas dos planos de acamamento mostram no geral orientação coerente com esta interpretação, exibindo, entretanto, fortes variações locais. Desta forma,

ocorrem trechos de centenas de metros com os planos de acamamento praticamente homogêneos alternados com trechos de dezenas de metros com as medidas de acamamento fortemente perturbadas. Um bom exemplo pode ser observado na porção norte da área, na unidade de arenitos laminados, onde os planos de estratificação apresentam mergulhos de 20 a 30 graus para SSW (locais 195 e 196). Logo ao sul, mostram-se fortemente perturbados (locais 192 e 193), com mergulhos para variadas direções, alcançando valores subverticais (ver Fig. 1). Estas variações de atitude do plano de acamamento estão relacionadas a dobras métricas a decamétricas, acilíndricas, de



Figura 7. Arenitos médios a grossos estratificados e silicificados da porção norte da área com estratificação primária indicando mergulho para o centro da estrutura (lado esquerdo da foto).



Figura 6. (A) Vista em corte vertical de estratificação cruzada em posição normal em arenito com acamamento com mergulho suave, local CJ 85. (B) Vista em planta de estratificação cruzada em posição invertida na qual o plano de acamamento geral tem atitude N60E/85SE, local CJ 154.

baixa razão amplitude/comprimento de onda, fortemente irregulares, com tendência de superfícies axiais subverticais. Outros exemplos encontram-se na região central da estrutura (locais 164 a 168), nos quais as camadas de arenito mostram expressivas variações originando um padrão irregular, mas semelhante a domos e bacias de baixa amplitude (Fig. 8).

Nos basaltos também são identificadas as perturbações na estratificação primária, apresentando mergulhos de até 45°. Os mergulhos diminuem no rumo externo da estrutura e são horizontais a cerca de 1,5 km de sua parte central, onde seguem o padrão regional.

Embora as medidas das superfícies de estratificações sejam muito variadas, percebe-se no campo e na distribuição das atitudes plotadas em mapa (Fig. 1) que existe um predomínio de mergulhos centrípetos.

Faturas são frequentes na área e embora algumas possam representar falhas a grande maioria corresponde a juntas. O diagrama da Figura 9 exhibe a grande variação nas

orientações dessas estruturas, embora coerentes com distribuições radiais e concêntricas.

As observações de campo sugerem o predomínio de duas famílias de juntas em cada local, sendo uma radial e outra concêntrica. Essas duas famílias são compatíveis com o sistema de fraturas esperado para uma estrutura de impacto.

Além da estratificação primária e juntas, outras estruturas encontradas na área são falhas de escalas centimétrica a métrica (Fig. 1).

Implicações estratigráficas e para a origem da estrutura

Os trabalhos publicados sobre esta área têm considerado os arenitos como pertencentes à Formação Botucatu, uma vez que interpretaram que estas rochas se encontram sotopostas aos basaltos. Entretanto, como descrito acima, os arenitos ocorrem sobre o basalto, o que traz dificuldade para se entender a quais unidades estes arenitos seriam correlacionáveis no quadro estratigráfico regional. Ou seja,



Figura 8. Foto de afloramento de leito de drenagem na porção central da estrutura mostrando arenito (Unidade de arenitos laminados) fortemente perturbado, desenhando dobras de escala métrica.

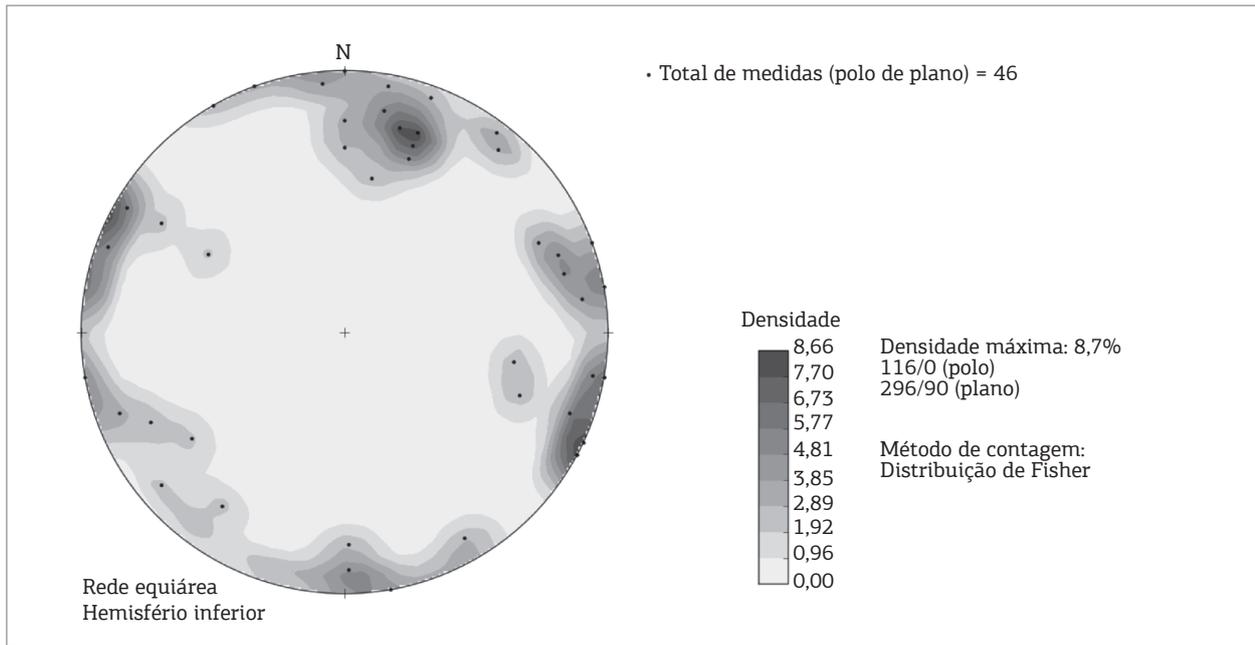


Figura 9. Estereograma para as medidas de juntas obtidas em todas as unidades mapeadas. Rede de igual área, hemisfério inferior. Nota-se a grande dispersão das medidas de fraturas subverticais, mas coerente com distribuições radiais e concêntricas.

a existência de um pacote de 80 a 150 m metros de espessura de arenitos, sobrepostos a basaltos no sul do Estado do Rio Grande do Sul foge à expectativa da cartografia geológica e da coluna estratigráfica da Bacia do Paraná. No momento não se tem uma solução definitiva para esta questão, entretanto são discutidas a seguir duas possibilidades.

Na primeira os arenitos corresponderiam à Formação Botucatu, pois tem sido reconhecido que os derrames de basaltos foram contemporâneos com depósitos de arenitos do deserto Botucatu (*v.g.* Soares 1975, Scherer *et. al.* 2000). Desta forma, é possível que estes depósitos correspondam a arenitos intertrapianos, como tem sido descrito em vários locais da Bacia do Paraná. A espessura anormal pode ser devido a alguma situação local como redução da atividade vulcânica por período relativamente longo ou ao condicionamento geomorfológico com barreiras físicas que isolassem o local dos derrames de lava. A ausência de uma camada de basalto cobrindo o arenito pode ser em consequência de erosão, ou indicar que neste local os fluxos de lava cessaram precocemente em relação ao restante da bacia. Os arenitos conglomeráticos, com litoclastos de rochas vulcânicas de até 4 cm de diâmetro e que ocorrem na base do pacote de arenitos médios a grossos estratificados, indicam erosão local de basalto durante a deposição.

Na segunda, os arenitos representariam uma sequência clástica posterior à Formação Serra Geral, possivelmente de distribuição restrita, ainda não descrita, ou corresponderiam

à Formação Tupanciretá descrita por Menegotto *et al.* (1968) como produto de deposição pós Formação Serra Geral.

A Formação Tupanciretá corresponde a um pacote de 80 m de espessura, constituído predominantemente por arenitos quartzosos associados a arenitos conglomeráticos, conglomerados basais e finas camadas de argila (Menegotto *et al.* 1968).

Também poderiam representar depósitos equivalentes às Formações Guichón e Mercedes, no Uruguai (Ana Alvarez 2004). Essas unidades são posteriores ao derrame vulcânico Arapey (correspondente ao Serra Geral). A Formação Guichón, de caráter fluvial e flúvio eólico, é seguida pela Formação Mercedes, lacustre e fluvial. A Formação Guichón é constituída por arenitos finos, conglomerados e arenitos grossos, além de ocasionais níveis de pelitos. A sequência neocretácea é representada pela Formação Mercedes, predominantemente arenosa, com marcada granodecrescência ascendente e interpretada como de origem fluvial (rios entrelaçados).

As novas interpretações estratigráficas e estruturais acima apresentadas são totalmente independentes da origem da estrutura, sendo relacionadas simplesmente ao entendimento da geometria dos planos de estratificação primária e dos contatos entre as unidades.

Entretanto, cabe comentar que, embora a estrutura não corresponda a um domo, como normalmente esperado em crateras de impacto do tipo complexas, um conjunto de feições sugere que a estrutura do Jarau deve ter sido formada

em função de um impacto de meteorito, como defendido por diversos autores (Lisboa *et al.* 1987; Crósta *et al.* 2010; Lourenço 2007 e Philipp *et al.* 2010). Nota-se que: 1) as camadas estão fortemente perturbadas, contrastando com o padrão regional de camadas subhorizontais; 2) são identificadas zonas locais de intenso fraturamento, por vezes associadas a brechas; 3) são observados planos de acamamento dobrados de forma complexa e irregular; 4) as fraturas tendem a exibir padrões de distribuição concêntricos e radiais, conforme observado em imagens de satélite; 5) ocorrência de falhas; e 6) presença de feições que indicam zonas de forte deformação intracristalina (ex. extinção ondulante abundante) e processos de deformação cataclástica.

As características estruturais dessa estrutura merecem uma discussão mais aprofundada quanto à sua origem, que foge ao escopo do presente trabalho. Contudo, cabe considerar que a estrutura do Cerro do Jarau, com cerca de oito quilômetros de diâmetro, representaria uma cratera do tipo complexa, na qual há o soerguimento do núcleo. Este soerguimento é incompatível com o padrão estrutural em forma de bacia verificado na área, com mergulhos de acamamento centrípetos. Por outro lado, as crateras simples conhecidas não passam de quatro quilômetros de diâmetro. Deve-se ressaltar que a feição topográfica circular do Cerro do Jarau reflete, principalmente, o produto de erosão diferencial da estrutura em bacia desenhada pelos arenitos sobrepostos aos basaltos. Assim, pode não corresponder ao limite da cratera de impacto. Além disso, o fato do alvo desse impacto ser um pacote de basaltos com arenitos pouco litificados, pode favorecer a um comportamento diferenciado devido ao forte contraste reológico dos dois litotipos. As características encontradas sugerem que a área foi intensamente erodida, representando a porção inferior de uma zona de impacto, portanto sem as feições típicas encontradas na porção superficial de uma estrutura de impacto meteorítico.

CONCLUSÕES

Com o mapeamento geológico de detalhe, foi possível identificar três unidades litoestratigráficas na área do Cerro do Jarau: a Formação Serra Geral, inferior, constituída por basaltos com intercalações de brechas ígneas e arenitos

intertrapa; arenitos médios a grossos estratificados, com camadas decimétricas de arenitos conglomeráticos, com clastos de basalto, frequentes na base; e arenitos lamina-dos, superiores.

A atitude preferencial dos planos de acamamento medidos evidencia o mergulho dos planos de estratificação primária para o centro da estrutura, configurando uma forma côncava, tipo bacia, e não um domo como anteriormente proposto por diversos autores (Ghres 1969; Moreira 1980; Schuck & Lisboa 1988; Lourenço 2007; Crósta *et al.* 2010; e Philipp *et al.* 2010).

A identificação de que os arenitos estão sobrepostos aos basaltos da Formação Serra Geral é inédita para área. O significado desse pacote de arenitos no quadro estratigráfico regional deve ser investigado. Com os dados atualmente disponíveis, as possibilidades são: 1) representam um pacote intertrapiano, mais espesso (~100 m) do que os normalmente encontrados (< 50 m) e com fácies subaquosas locais; 2) correspondem a uma unidade mais jovem do que a Formação Serra Geral, tendo como possíveis correlatos os arenitos da Formação Tupanciretã, descritos na região centro-norte do Estado do Rio Grande do Sul, ou as formações Guichón e Mercedes (Neocretácea), que ocorrem no Uruguai.

As novas interpretações estratigráficas e estruturais acima apresentadas são totalmente independentes da origem da estrutura, sendo relacionadas simplesmente ao entendimento da geometria dos planos de estratificação primária e dos contatos entre as unidades. Contudo, as diversas feições observadas na realização do presente trabalho, destacando-se a intensa deformação registrada na Estrutura do Cerro do Jarau, contrastante com o padrão regional de rochas não deformadas da Bacia do Paraná, corroboram a interpretação de que se trata de uma estrutura produzida por impacto de meteorito.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP pelo apoio financeiro (projeto 2010/51715-1), ao CNPq pela bolsa de doutorado, ao Programa de Pós-Graduação em Geologia Regional da UNESP, aos moradores da região mapeada pela acolhida e facilitação de acesso. Agradecemos também a Cláudio Riccomini pelas sugestões na revisão do texto.

REFERÊNCIAS

Ana Alvarez H. B. de S. 2004. *Análise Tectono-estratigráfica das sequências permotriássica e jurocretácea da Bacia Chacoparanaense Uruguiaia ("Cuenca Norte")*. Tese de doutorado Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, -Campus de Rio Claro, 274 p.

Crósta A.P., Lourenço F.S., Priebe G.H. 2010. Cerro Jarau, Rio Grande do Sul: a Possible New Impact Structure in Southern Brazil. In: Roger L. Gibson & Wolf U. Reimold (Eds.) *Large Meteorite Impacts and Planetary Evolution IV. The Geological Society of America Special Paper*, 465:173-90.

- French B.M., (eds). 1998. Traces of catastrophe: A handbook of shock-metamorphic effects in terrestrial meteorite impact structures. Houston, Lunar and Planetary Institute. LPI Contribution No. 954. 120 p.
- Gass S.L.B., Massola J.L., Montardo D.K. 2009. Caracterização Geológico-Geomorfológica da Microbacia do Arroio Varejão, Município de Chapada, Rio Grande do Sul, Brasil. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. *Anais*, p. 3833-40.
- Grehs S.A. 1969. Aspectos Geológicos e geomorfológicos do Cerro do Jarau, Rio Grande do Sul. In: SBG, 23 Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, p. 265-72.
- Janasi V. de A., Freitas V.A., Heaman L.H. 2011. The onset of flood basalt volcanism, Northern Paraná Basin, Brazil: A precise U Pb baddeleyite/zircon age for a Chapecó-type dacite. *Earth and Planetary Science Letters*, **302**(1-2):147-53.
- Kazzuo-Vieira C., Crósta A. P., Gamboa F., Tygel M. 2009. Caracterização Geofísica da estrutura de impacto do domo do Vargeão, Brasil. *Revista Brasileira de Geofísica*, **27**(3):375-88.
- Lisboa N.A., Oliveira M.T.G., Schuck M.T.G.O., Tramontina H.C. 1987. Reconhecimento geológico da região do Jarau, Quaraí, RS. In: SBG, Simpósio Sul-Brasileiro de Geologia, 3, *Atas*, **1**:319-32.
- Lisboa N.A. & Schuck M.T.G.O. 1988. Caracterização de formas e padrões estruturais no Grupo São Bento da Bacia do Paraná no Rio Grande do Sul em imagens orbitais e suborbitais. In: SBG-Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, *Anais*, **2**:323-33.
- Lisle R.J. (eds.) 2004. Geological Structures and Maps. A Practical Guide. Amsterdam, Elsevier, p. 12.
- Lourenço F.S. 2007. *Caracterização Geológica da Possível Estrutura de Impacto do Cerro do Jarau - Região oeste do Estado do Rio grande do Sul*. Trabalho de conclusão de curso. Instituto de Geologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 73 p.
- Menegotto E.; Sartori P. L. P.; Maciel Filho C.L. 1968. Nova sequência sedimentar sobre a Serra Geral no Rio Grande do Sul. Publicação Especial do Instituto de Solos e Culturas, Seção Geologia e Mineralogia, Santa Maria, **1**:1-19.
- Moreira H.L., Freitas P.R.S., Nunes A.B. 1980. Geologia da Estrutura de colapso do Jarau. In: 31 Congresso Brasileiro de Geologia, *Anais*, **5**:2684-2690.
- Philipp R.P., Rolim S.B.A., Sommer C.A., Souza Filho C.R. de, Lisboa N.A. 2010. A estrutura de impacto do Cerro do Jarau, Quaraí, RS. *Revista Brasileira de Geociências*, **40**(4):468-483.
- Scherer C. M. S., Faccini U. F., Lavina E. L. 2000. Arcabouço Estratigráfico do Mesozóico da Bacia do Paraná. In: Holz, M. & De Ross, L. F. (eds.), *Geologia do Rio Grande do Sul*. CIGO/UFRGS, Porto Alegre, 444 pp.
- Scherer C.M.S., Caravaca G., Sommer C.A. 2003. Evolução Estratigráfica dos depósitos eólicos do Grupo São Bento (Cretáceo Inferior da Bacia do Paraná) no Estado do Rio Grande do Sul. In: I Encontro sobre a Estratigrafia do Rio Grande do Sul. ILEA/UFRGS, Porto Alegre, p. 170-176.
- Schuck M.T.G.O., Lisboa N.A. 1987. Identificação de padrões Estruturais no Grupo São Bento, Quaraí, RS, através da Análise de Imagens orbitais e sub-orbitais. *Revista Pesquisas*, **20**:5-24.
- Soares P.C. 1975. Divisão estratigráfica do Mesozóico no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Geociências*, **5**:251-267.

[Arquivo digital disponível on-line no site www.sbgeo.org.br](http://www.sbgeo.org.br)