

# **O ASTROBLEMA DE VARGEÃO (SC): EVIDÊNCIAS PETROGRÁFICAS DE UM CRATERAMENTO CRIPTOEXPLOSIVO POR PETARDO EXTRATERRESTRE**

*Jorge Hachiro \* + José Moacyr Vianna Coutinho \*  
Maria Heloisa B. de Oliveira Frascá \* Cristina Miranda Menezes \* #*

*\* DIGEO/IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.  
+ IGc/USP - DPE - Pós-Graduação, Instituto de Geociências - USP. # IGc/USP - Graduação.*

## **ABSTRACT**

The Vargeão Astrobleme (Santa Catarina State, Brazil) is a circular-shaped structure with 11 kilometers diameter, centered at 26° 50' S and 52° 10' W, within the domain of magmatic lavas and sedimentary rocks of the São Bento Group, Paraná Basin. It was discovered in 1978 by radar imagery examination, and is defined by a radial and annular fractures and faults pattern. These faults demarcate the contact between the central depression, up than one hundred meters lower, with the surrounding terrain.

Evidences of an impact struture are:

- 1) the circular-shaped depression;
- 2) the existence of a central uplift, a ring depression around this uplift, a concentric annular horsts and grabens system and a rim crater of scarpments;
- 3) the occurrence of shock-metamorphosed rocks;
- 4) the negative anomalies of the magnetic field in the area.

## **INTRODUÇÃO**

Este trabalho tem por finalidade esclarecer, através de dados petrográficos, a origem da estrutura circular inicialmente conhecida como "Domo" de Vargeão, situada no planalto basáltico meridional de Santa Catarina, a 26° 50' de latitude Sul e 52° 10' de longitude Oeste (Figura 1). Com uma área de influência de  $\pm 380 \text{ km}^2$  abrange, junto a sua borda sul, a localidade de Vargeão, e está cortada na sua borda norte pelo rio Chapecozinho, de orientação aproximada E-W.

Em realidade, ela constitui uma cratera circular com diâmetro ao redor de 11 km e com desníveis, em relação à superfície circundante, que podem atingir cerca de 150 metros.

## **HIPÓTESES SOBRE A GÊNESE DA ESTRUTURA CIRCULAR DE VARGEÃO**

Em estudos anteriores, Paiva Filho *et al.* (1978) assinalaram a presença dessa anomalia geomorfológica circular, caracterizando-a então de "domo estrutural de Vargeão", que ficou sendo considerada como uma janela estratigráfica no interior da Formação Serra Geral, com exposições de Arenitos Botucatu na sua parte central. Estes autores consideraram, à época, ser razoável que se atribuisse uma origem semelhante à de estruturas vinculadas às intrusões alcalinas como os domos de Lajes e Anitápolis.

Barbour Jr. & Corrêa (1981) formularam várias hipóteses para explicar a origem desta depressão topográfica, circular e cercada por relêvo tabular: abatimento de blocos em sistema de falhas normais e escalonadas; impacto de meteoritos; explosão criptovulcânica por escape súbito de gases; formação de caldeira vulcânica por diques anelares; e intrusão ígnea profunda de composição alcalina. Apesar das diversas hipóteses aventadas, não optaram por nenhuma delas, considerando que os dados existentes não eram conclusivos quanto à origem da estrutura.

Paiva Filho *et al.* (1982), ao discutirem algumas das idéias sobre a origem da estrutura de Vargeão, assinalaram que, devido à inexistência de evidências de atividade vulcânica extrusiva ou intrusiva e aos dados geofísicos disponíveis não indicarem intrusão em profundidade, a suposição mais aceitável é a do impacto de um corpo celeste. Para Crósta (1982), entre o "Domo" de Vargeão e diversos astroblemas, podem ser observadas similaridades morfológicas e estruturais dentre as quais se destaca a existência de um núcleo soerguido, confirmado pela ocorrência de arenitos Pirambóia-Botucatu a mais de 500 m acima de sua posição estratigráfica normal. Estes autores, no entanto, têm ressaltado que somente estudos específicos, visando identificar feições de metamorfismo de impacto, poderiam elucidar a questão.

## **PETROGRAFIA DOS LITOTIPOS PRESENTES NA ESTRUTURA DE VARGEÃO**

Os sedimentos da Formação Pirambóia-Botucatu estão representados por argilitos arenosos muito finos e arenitos finos a conglomeráticos. Têm seleção fraca a moderada, grãos subangulosos a arredondados e boa esfericidade. Os clastos mais grossos são de quartzito, arredondados, milimétricos a centimétricos. Em seções delgadas distinguem-se:

a) Psamitos com 80-90% de clastos e 10-20% de matriz. Os clastos constituem-se de grãos de quartzo (90%), microclínio + plagioclásio (10%) e minerais pesados (traços), na fração areia muito fina a média. A matriz argilo-siltosa é formada de argilominerais indistintos (80-90%), impregnados por hidróxidos de ferro, e finíssimas partículas de quartzo (10-20%). O empacotamento é fornecido por grãos flutuantes a tangenciais e a porosidade (secundária) dada por microfaturas intragranulares, muito comuns nas amostras mais coerentes e recristalizadas onde os grãos de areia média estão intensamente rompidos e lascados como que por esmagamento. Classificação: arenito subarcoseano fino a médio (segundo Coimbra *et al.* 1992).

b) Pelitos com 55-75% de matriz e 25-45% de clastos. A matriz argilo-siltosa é formada de argilominerais indistintos (60-70%), impregnados por hidróxidos de ferro, e finíssimos grãos de quartzo (30-40%). Os clastos, na fração areia muito fina a fina, compõem-se de quartzo (95-100%) e feldspatos + *chert* + minerais pesados (tr-5%). O empacotamento exibe grãos flutuantes a tangenciais. Uma parcela dos grãos de quartzo de granulação maior foram fraturados e esmagados, após a litificação, com freqüente estilhaçamento e incorporação parcial de finas lascas ponteadas à matriz. Outros aspectos indicativos de passagem de ondas de choque foram: grãos de quartzo com desenvolvimento de fraturas planares múltiplas finamente espaçadas e orientadas segundo {0001} e, menos comumente, {1013} e {1012}; grãos de plagioclásio com manchas de baixa birrefringência e índice de refração médio (cloríticas), em substituição a vidro diaplético (*maskelynita*); grãos de quartzo exibindo lamelação fina romboédrica. Classificação: argilito arenoso (segundo Coimbra *et al.* 1992).

A Formação Serra Geral está representada por uma seqüência de derrames composta por lava básica cinza escura, na base, e por lavas acastanhadas de composição intermediária a ácida e textura porfíritica, na parte superior da borda da estrutura. Subordinadamente ocorrem horizontes de brechas interderrames, aglomeráticas, formadas por fragmentos centimétricos a decimétricos de material vesículo-amigdaloidal imersos em matriz afanítica avermelhada. Elas formam-se sempre que uma lava mais jovem, ao derramar-se sobre o topo do derrame inferior, revolve e incorpora pedaços menos resistentes dessa superfície. Foram analisadas em seções delgadas:

a) Rocha ígnea extrusiva constituída predominantemente por labradorita (35-40%), augita + pigeonita (30-35%), magnetita (5-10%), vidro devitrificado e/ou argilominerais (5-10%) e, em proporções variadas (compondo cerca de 20% do volume da rocha), zeólitas, filossilicato esverdeado, sílica microcristalina + quartzo, calcita e hidróxidos de ferro. A textura é intergranular com plagioclásio, em cristais submilimétricos e ripiformes, envolvendo cristais subédricos a anédricos e submilimétricos de clinopiroxênios e opacos. Vidro devitrificado pode ocorrer nos espaços intergranulares. Geralmente apresenta fraca a moderada alteração hidrotermal. Classificação: basalto (segundo Streckeisen 1978).

b) Rocha ígnea extrusiva, de estrutura brechóide, constituída por 65-75% de fragmentos de basalto com textura intergranular e 25-35% de matriz fina. Os fragmentos são compostos por labradorita (35-40%), augita + pigeonita (25-30%), vidro devitrificado e/ou argilominerais (10-15%), magnetita (5-10%), zeólitas (5-10%), filossilicato verde (5-10%), calcita (tr) e hidróxidos de ferro (tr). A matriz é composta de fragmentos menores de basalto e de seus componentes liberados. Vidro devitrificado, por vezes associado a hidróxidos de ferro e/ou filossilicato verde, preenche os interstícios granulares. Fraturas irregulares de abertura milimétrica a centimétrica, entrecruzadas, estão preenchidas por zeólitas, hidróxidos de ferro e rara calcita. Apresenta moderada alteração hidrotermal. Classificação: basalto brechado (segundo Streckeisen 1978).

c) Rocha ígnea extrusiva, de textura porfíritica, formada por 70-80% de massa fundamental afanítica e 20-30% de fenocristais de minerais em sua maioria silicáticos. A massa fundamental é constituída por ripas de feldspato alcalino de granulação muito fina e micrólitos de piroxênios e opacos, sobre quartzo de crescimento esponjoso, sugerindo a existência de massa vítrea silicosa original que se devitrificou em manchas granofíticas ricas em quartzo. Fenocristais submilimétricos a milimétricos, euédricos a subédricos, de andesina-labradorita (40-45%) e anédricos a subédricos, de augita + pigeonita (25-30%), opacos (20%), quartzo (5-10%) e apatita (tr-5%) estão dispersos nessa massa. Os fenocristais de plagioclásio geralmente acham-se deformados e estilhaçados, com microfaturas cimentadas por material microgranular (calcedônia) e mostrando pequena rotação dos fragmentos. Fraturas milimétricas cortando a seção delgada podem estar preenchidas por quartzo e/ou sílica microcristalina e impregnadas por hidróxidos de ferro. Classificação: quartzo latito pórfiro (segundo Streckeisen 1978).

d) Rocha ígnea extrusiva, de textura vitrofírica ou hialopilitica, formada por 60% de massa fundamental vítrea e 40% de fenocristais. A massa fundamental, constituída por vidro devitrificado e/ou argilominerais e filossilicato fibroso, está impregnada por hidróxidos de ferro. Os fenocristais submilimétricos e subédricos a euédricos são de andesina-labradorita (40-45%), parcial a totalmente substituídos por argilominerais ou filossilicatos fibrosos; quartzo (25-30%); opacos (10-15%); clinopiroxênios (10-15%) parcialmente argilizados; e feldspato alcalino (5%). Plagioclásio, opacos e clinopiroxênios estão imersos na massa fundamental, e quartzo e feldspato alcalino ocorrem em agregados preenchendo cavidades micromiarolíticas. Classificação: hialo-quartzo latito (segundo Streckeisen 1978).

## **FEIÇÕES DEFORMACIONAIS DIAGNÓSTICAS DE IMPACTITOS, ASSOCIADAS AO ASTROBLEMA DE VARGEÃO**

A suspeita anteriormente cogitada, quanto à estrutura de Vargeão estar relacionada a um impacto meteorítico, pôde finalmente ser comprovada pelos dados petrográficos apresentados no presente estudo.

As feições petrográficas, encontradas em rochas do interior da estrutura de Vargeão e que foram analisadas em seções delgadas, permitem concluir que a sua geração obedeceu mecanismos semelhantes a outros astroblemas. Tratam-se de transformações profundas nos minerais e rochas do centro da estrutura e que constituem o mais confiável critério na identificação de antigas crateras criptoexplosivas. Segundo Khryanina (1979), tal confiabilidade advém do fato de não serem conhecidos quaisquer outros fenômenos naturais, além da criptoexplosão por choque, capazes de fornecerem condições de pressão e temperatura, próximo à superfície, suficientes para gerarem as mudanças observadas em rochas metamorfizadas, alvejadas por algum tipo de bólide.

Khryanina (1979) afirma que, numa ação instantânea de poucos segundos durante o processo de choque, as pressões podem alcançar 800 a 1000 kbar e o calor gerado atingir milhares de graus Celsius. Fenômenos geológicos superficiais como as mais violentas explosões vulcânicas produzem pressões máximas que não chegam acima de algumas dezenas de quilobares. O único tipo de evento conhecido em que são geradas pressões de metamorfismo de impacto, que se aproximam aos efeitos do choque de corpos extraterrestres em hipervelocidades contra a crosta são aquelas medidas em crateras formadas artificialmente através da detonação de artefatos nucleares subterrâneos (Nordyke 1977).

As feições resultantes do metamorfismo de impacto foram detectadas nos Arenitos Pirambóia-Botucatu e no quartzo latito pórfiro da Formação Serra Geral, aflorantes na cratera de Vargeão.

A primeira delas é o conjunto de estruturas microscópicas planares que se incorporam em grãos de quartzo, e feldspatos. Essas feições planares de deformação (lamelas isotrópicas) desenvolvem-se melhor no quartzo e são consideradas por autores como Spry (1976) e Gurov *et al.* (1981) como evidências indubitáveis de metamorfismo de impacto.

São feições induzidas nos minerais pela passagem de ondas de choque que geram sistemas de descontinuidades ópticas através de conjuntos de planos separados de 2 a 10 micrômetros entre si e orientadas paralelamente a direções cristalográficas características. Em um único grão podem ser observados até um total de 11 planos, mas os mais frequentes são {0001}, {1013}, {1012}, {1011}, {1122} e {1121} (French 1967).

Nos grãos de quartzo de arenitos e lamitos de Vargeão, foram reconhecidas feições planares, comumente com duas direções {0001} e {1013} e, excepcionalmente, com até três direções {0001}, {1013} e {1012} (Fotos 1 e 2 - Fig. 2).

A análise microscópica dos sedimentos expostos no núcleo da estrutura identificou também feições de deformação mecânica associadas ao impacto. Em grãos de quartzo na fração areia, podem ser detectadas tanto uma tendência de lamelação no padrão romboédrico como também um estilhaçamento pós-deposicional e pós-diagenético, de clastos ovóides que estão fatiados em lascas ponteadas, estreitas e angulosas (Fotos 3 e 4 - Fig. 2). São feições fissurais originadas por microfraturas e microfalhas que alteraram o *fabric* original dos sedimentos, com a substituição de grãos arredondados e ovais típicos dos Arenitos Botucatu por fragmentos mais finos, angulosos, estilhaçados a fatiados. Essas microfissuras limitadas a alguns clastos, imperceptíveis ou inexistentes na matriz, foram descritas por King (1976) como fortemente sugestivas da passagem de ondas de choque.

Já em grãos de feldspatos, especialmente plagioclásio, foram desenvolvidas manchas compostas de clorita, formadas sobre locais onde presumidamente existiria vidro diaplético (maskelynita). Chao (1967) denominou de thetomórfico o processo de formação, por choque, de qualquer fase vítrea, a partir de mineral no estado sólido.

Quanto às feições reconhecidas nos fenocristais milimétricos de plagioclásio, do quartzo latito pórfiro, caracterizam-se por envolver uma perturbação no edifício cristalino dos feldspatos dessas rochas. Alguns apresentam-se, ao microscópio, parcialmente microgranulados e triturados (Fotos 5 e 6 - Fig. 2), geralmente dilatados em tamanho e, às vezes, até com sinais de recristalização. Já outros cristais de plagioclásio apesar de conservarem em parte a morfologia e as dimensões originais mostram-se rompidos, com fraturas cimentadas por calcedônia, em um mosaico de fragmentos cristalinos desordenados (Foto 7 - Fig. 2). Muitos dos planos de geminação estão interrompidos, evidenciando as descontinuidades ópticas dos cristais. Essa defasagem nem sempre está ligada a deslocamentos laterais dos fragmentos mas devem-se também a movimentos rotacionais, acentuados ou não, entre partes desconectadas dos cristais. Estes cristais de aparência estilhaçada e deformada, por vezes soldados por material microcristalino (Foto 8 - Fig. 2), também são citados por Spry (1976) como produtos do metamorfismo de choque.

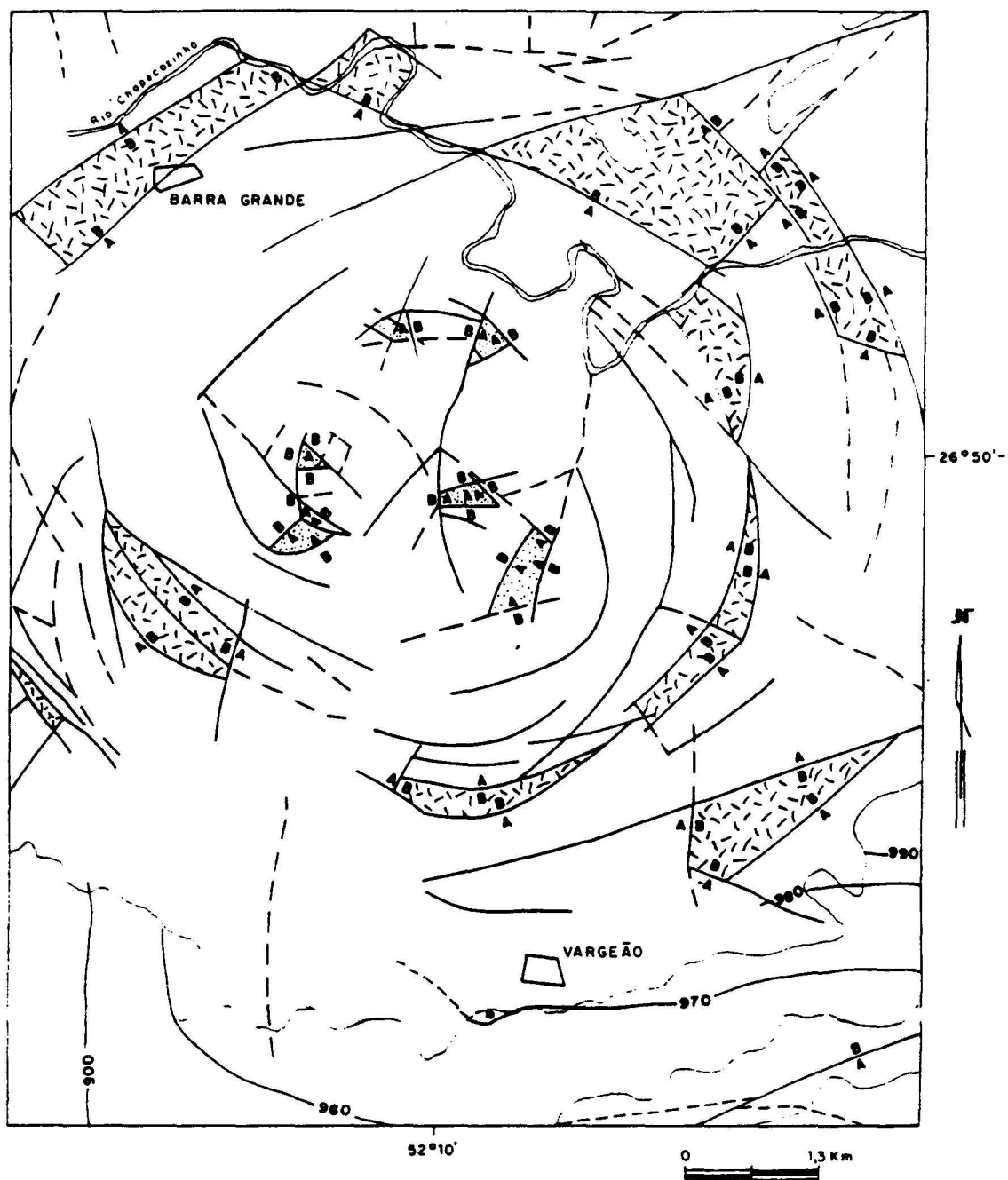
## CONCLUSÕES

A partir do conjunto de feições diagnósticas reconhecidas ao microscópio, em seções delgadas de materiais coletados no interior da cratera de Vargeão, e descritas no presente trabalho, podemos afirmar que quase não restam dúvidas quanto à natureza do evento que deu origem à estrutura. Tudo leva a crer que se tenha formado pelo concurso de um petardo extraterrestre de dimensões relativamente avantajadas que ao colidir com a superfície da Terra produziu a depressão circular.

Na cratera criptoexplosiva de Vargeão estão associadas às feições microscópicas ópticas (lamelas isotrópicas, lamelação romboédrica, estilhaçamento de grãos, formação de vidro diaplético, vitrificação e recristalização de material silicoso) feições geomorfológicas (contorno estrutural circular, núcleo central soerguido, *horsts* e *grabens* anelares e concêntricos e borda em coroa escarpada) e evidências indiretas de medidas geofísicas indicando anomalias negativas de intensidade do campo magnético local. Depressões com essas características, detectadas em distintas unidades rochosas, são atualmente aceitas por pesquisadores de estruturas similares, em diferentes países, como **astroblemas** gerados pela fugaz expansão de energia e matéria durante a colisão de corpos extraterrestres, métricos a quilométricos, contra a superfície do planeta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOUR JR., E. & CORRÊA, W.A.G. 1981. *Geologia da estrutura de Vargeão-SC*. São Paulo, IPT/CESP. Relatório 23/81, 22 p.
- CHAO (1967), E.C.T. 1967. Impact metamorphism. In: ABELSON, P.H. ed. *Researches in Geochemistry*. John Willey and Sons. p. 204-233.
- COIMBRA et al. 1992. Proposta de classificação integrada de rochas sedimentares clásticas. In: CONGR. BRAS. GEOL., 37. São Paulo, 1992. *Boletim de resumos expandidos*, São Paulo, SBG. v. 2, p. 419-421.
- CRÓSTA, A.P. 1982. Estruturas de impacto no Brasil: uma síntese do conhecimento atual. In: CONGR. BRAS. GEOL., 32. Salvador, 1982. *Anais...*, Salvador, SBG. v. 4, p. 1372-1377.
- FRENCH, B.M. 1967. *Sudbury struture, Ontario: Some petrographic evidence for an origin by meteorite impact*. NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, 56 p.
- GUROV, Y.P.; GUROVA, Y.P.; RAKITSKAYA, R.B. 1981. Orientation of planar element systems in quartz from rocks of meteorite impact craters. *International Geology Review*, 23(1): 11-16.
- KHRYANINA, L.P. 1979. Meteorite craters as geologic strutures. *Geotectonics*, 13(3): 246-254.
- KING, E.A. 1976. *Space Geology: an introduction*. New York, John Willey and Sons. p. 131-150.
- NORDYKE, M.D. 1977. Nuclear cratering experiments: United States and Soviet Union. In: RODDY, D.J.; PEPIN, R.O.; MERRIL, R.B. ed. *Impact and explosion cratering*. New York, Pergamon. p. 103-124.
- PAIVA FILHO, A.; ANDRADE, C.A.V.; SCHEIBE, L.P. 1978. Uma janela estratigráfica no oeste de Santa Catarina: o Domo de Vargeão. In: CONGR. BRAS. GEOL., 30. Recife, 1978. *Anais...* Recife, SBG. v. 1, p. 408-412.
- PAIVA FILHO, A.; CRÓSTA, A.P.; AMARAL, G. 1982. Utilização de dados de sensoriamento remoto no estudo estratigráfico e estrutural da Formação Serra Geral (sul do Brasil). In: SIMP. BRAS. SENSOREAMENTO REMOTO, 2. Brasília. *Anais...* Brasília.
- SPRY, A. 1976. *Metamorphic textures*. Oxford, Pergamon.
- STRECKEISEN, A. 1978. Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites and melilitic rocks - Recommendations and suggestions of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *N. Jb. Miner. Abh.*, 134(1): 1-14.



### LEGENDA

#### GRUPO SÃO BENTO




- |   |                                     |                    |
|---|-------------------------------------|--------------------|
|  | Quartzo Latito Pórfiro              | } Fm - Serra Geral |
|  | Basaltos                            |                    |
|  | Arenitos - Fm. Pirambóia / Botucatu |                    |



FIGURA 1 - MAPA GEOLÓGICO DA ESTRUTURA DE VARGEM  
(modificado de Barbour Jr & Correa, 1981)



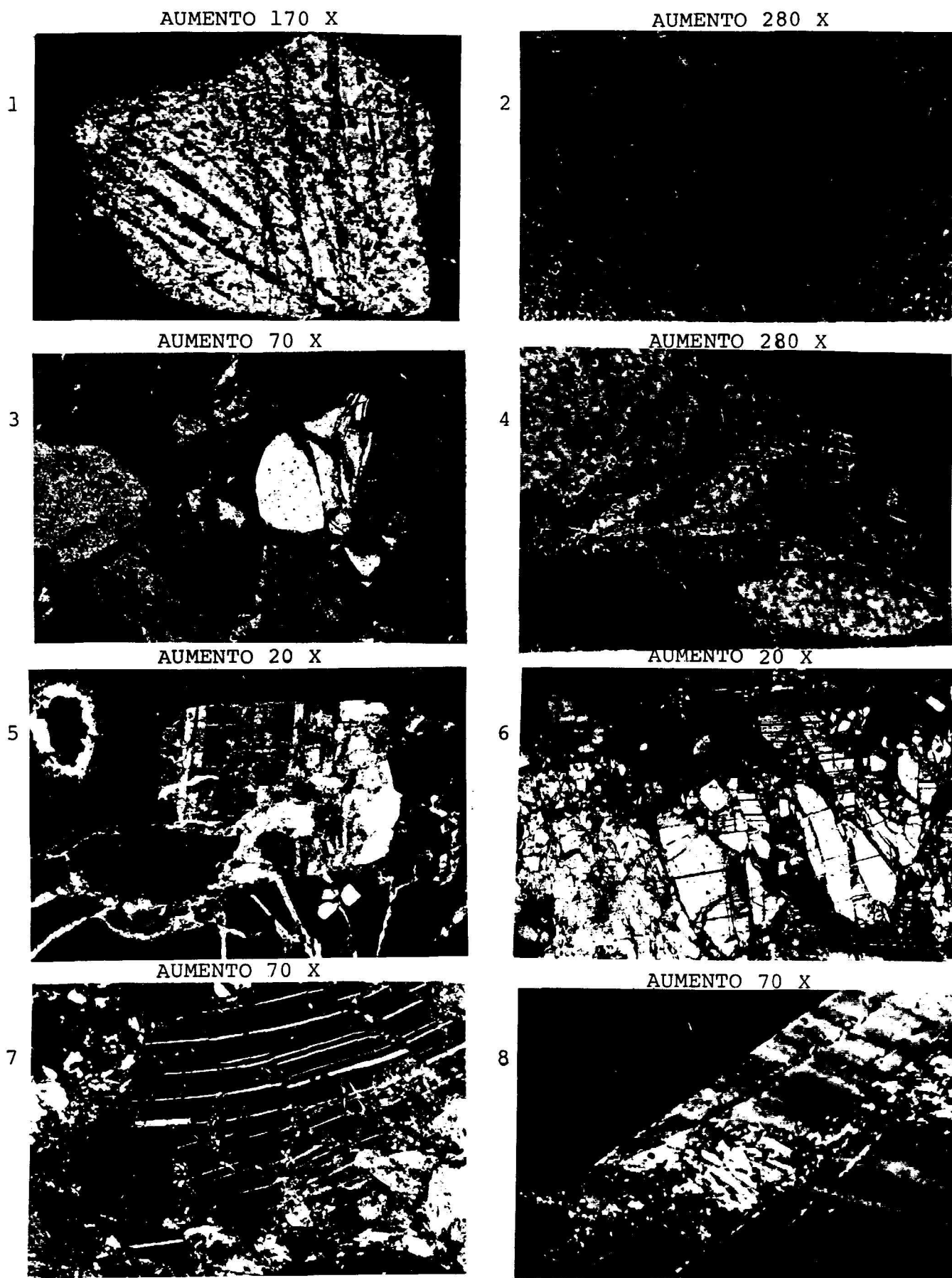


FIGURA 2 - Fotomicrografias com feições deformacionais de impacto