

FEIÇÕES DE METAMORFISMO DE IMPACTO NO DOMO DE ARAGUAINHA

ÁLVARO PENTEADO CRÓSTA*, JOSÉ CARLOS GASPAR** e MARIA ANGELA FORNONI CANDIA**

ABSTRACT In the present work some features of the Araguainha Dome are analysed. This features are correlated to those described in the literature as produced by the impact of celestial bodies against the Earth's surface. The geologic context of the structure, whith central uplift and raised rim, the occurrence of shatter cones in the Furnas Sandstone, the presence of polimict breccia with a vitreous matrix and the set of micro-features due to shock metamorphism (as planar features in quartz and feldspar, presence of kink bands, etc.) constitute evidences that this type of process has occurred in this area. This hypothesis is in agreement with the one proposed by Dietz *et al.* (1973) who classified the Araguainha Dome as a probable astrobleme.

INTRODUÇÃO O objetivo do presente trabalho é descrever algumas feições observadas em rochas aflorantes na porção central do Domo de Araguainha, similares às desenvolvidas em outras estruturas de várias partes do mundo para as quais é aceita uma origem relacionada a impacto de corpos celestes contra a superfície terrestre.

Acreditamos que a identificação dessas feições no Domo de Araguainha vem fornecer elementos de relevante importância na discussão da origem do mesmo.

A estrutura dômica de Araguainha está localizada a $16^{\circ}45'S$ e $52^{\circ}59'W$ e é dividida pelo Rio Araguaia, tendo assim uma porção no Estado de Mato Grosso e outra no

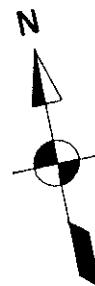
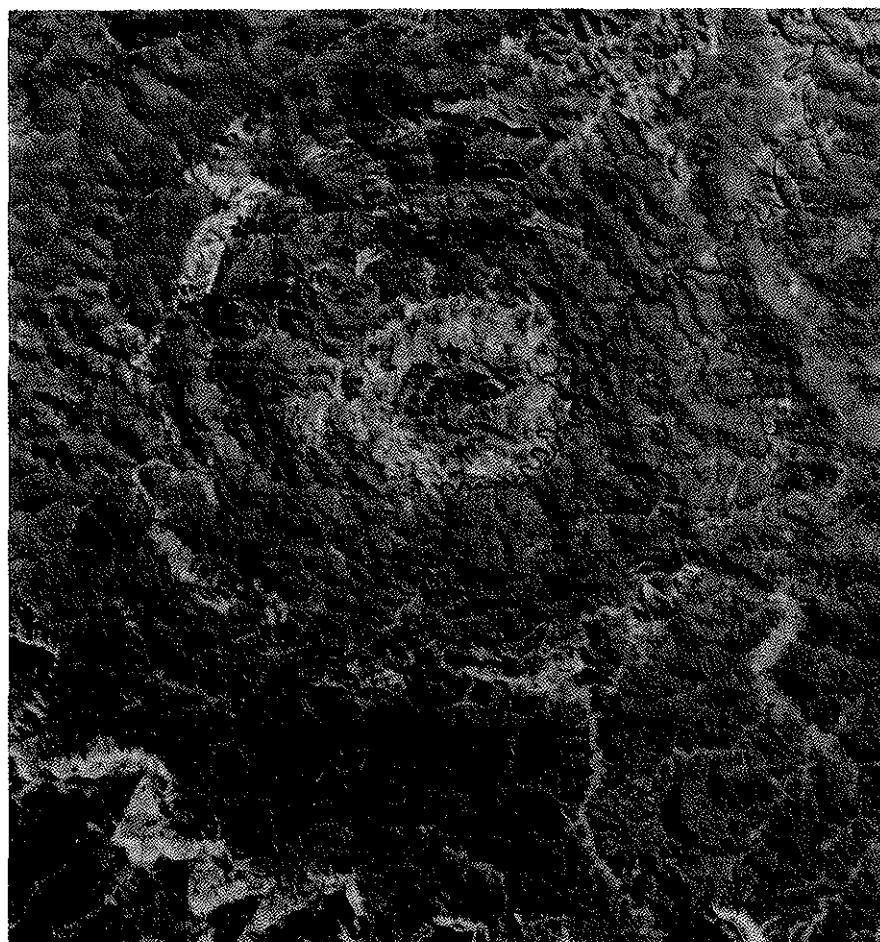


Figura 1 — Parte da imagem MSS LANDSAT, canal 7, correspondente à área do Domo de Araguainha. Cortando a estrutura, vê-se o Rio Araguaia

* Programa de Pós-Graduação, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE-CNPq); Bolsista de Pós-Graduação da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP — Endereço atual: Themag Engenharia Ltda., Rua Bela Cintra, 986, CEP 01415, São Paulo, SP

** Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Departamento de Mineralogia e Petrologia, Caixa Postal 20899, São Paulo, SP

Estado de Goiás. Ela se instalou sobre unidades sedimentares da Bacia do Paraná e ocupa hoje uma área circular de cerca de 1 300 km², tendo diâmetro de 40 km (Fig. 1).

A primeira referência à estrutura dômica ali existente foi feita por Northfleet *et al.* (1969), que a interpretaram como decorrente de uma intrusão de rocha de composição sienítica que teria arqueado as camadas paleozóicas adjacentes em forma de domo.

Um reconhecimento posterior foi realizado por Silveira Filho e Ribeiro (1971), que descrevem a estrutura como tendo ao centro um bloco de embasamento cristalino de composição granítica, circundado por material vulcânico (lavas, brechas e tufos) de composição traquítica. Para esses autores, a estrutura poderia ser relacionada, quanto à forma e estilo tectônico, à estrutura cripto-vulcânica de Wells Creek (Tennessee, EUA).

Dietz *et al.* (1973) introduzem uma nova hipótese sobre a gênese do Domo de Araguainha ao descrever evidências de que o mesmo se teria formado em decorrência do impacto de um corpo celeste, segundo eles provavelmente um cometa, contra a superfície terrestre. É citada por esses autores, como evidência desse fenômeno, a ocorrência de *shatter cones* e de estruturas planares em grãos de quartzo, sendo o domo classificado por eles como um provável astroblema. Theilen-Willige (1981) em trabalho bem mais recente, analisa alguns aspectos desta estrutura e também conclui por uma origem relacionada a impacto.

GEOLOGIA DA ESTRUTURA DE ARAGUAINHA A estrutura circular de Araguainha é limitada externamente por sedimentos permianos do Grupo Passa Dois, contidos em faixas semicirculares, de ocorrência restrita, limitadas por falhas de gravidade. Esses sedimentos, basicamente siltitos e arenitos finos de cor cinza-arroxecada, estão abatidos por falhas dentro de arenitos carboníferos da Formação Aquidauana e constituem o anel mais externo da estrutura. Em direção ao centro da mesma seguem-se, pela ordem, arenitos vermelhos grosseiros da Formação

Aquidauana e siltitos e arenitos finos da Formação Ponta Grossa, de idade devoniana.

Consideramos como início do núcleo da estrutura, ao qual este estudo se restringe, o contato entre as formações Ponta Grossa e Furnas, que é marcado por uma quebra topográfica brusca. Este núcleo soerguido recebe localmente o nome de Serra da Arnica e mostra uma porção de rocha granítica no centro, envolvida por dois anéis. O primeiro anel, com relevo ondulado de colinas, é constituído basicamente por brechas e o segundo, de relevo mais acidentado, por arenitos da Formação Furnas, localmente metamorfizados.

O núcleo soerguido possui um formato aproximadamente elíptico, tendo seu eixo maior cerca de 7 km de comprimento, e seu estilo geomórfico é bastante semelhante ao dos denominados *central uplift* descritos na literatura como associados a impactitos e que, juntamente aos efeitos de metamorfismo de impacto, servem como critério para a identificação de tais estruturas.

Na porção central do núcleo soerguido, de topografia relativamente plana, afloram blocos de rocha de composição granítica exibindo vários graus de deformação, podendo ser encontrados desde blocos com megacristais de feldspato potássico de dimensões variáveis, entre 3 e 6 cm, até outros bastante cataclasados, mostrando os minerais estirados e partidos.

Envolvendo essas rochas graníticas, ocorre um anel de brechas polimicticas formando um relevo ondulado, de composição extremamente variada, possuindo principalmente fragmentos vítreos total ou parcialmente devitrificados. Até onde pode ser observado, essa brecha constitui uma espessa camada de material provavelmente escavado pelo impacto e imediatamente redepositado.

A porção mais externa do núcleo é também a de relevo mais saliente com desniveis médios, para o exterior do núcleo, de 150 m e para o interior, de 80 m. Ela é constituída por arenitos da Formação Furnas, localmente metamorfizados e dobrados, que exibem mergulhos quase verticais para fora da estrutura (Foto 1).



Foto 1 — Vista do Arenito Furnas na borda norte do núcleo soerguido. O arenito apresenta-se localmente metamorfizado e com mergulhos quase verticais para fora da estrutura

FEIÇÕES DE IMPACTO A partir do estudo de estruturas de impacto em diversas partes do mundo, foram determinados alguns critérios para o reconhecimento de tais estruturas; segundo Dence (1972), características petrográficas, topográficas e estruturais, além de propriedades geofísicas e estilos de deformação, distinguem as estruturas de impacto dos fenômenos vulcânicos e tectônicos.

A associação entre alguns critérios apresentados por esse autor e por nós encontrada no Domo de Araguainha é notável. Dessa forma, o formato circular com o núcleo e as bordas soerguidas, as brechas polimíticas com matriz vítreia, o metamorfismo e intenso dobramento do Arenito Furnas, a ocorrência de *shatter cones* e várias feições microscópicas são fortes evidências de que sua origem está relacionada à queda de um corpo celeste de grandes dimensões.

Shatter cones *Shatter cones* são estruturas cônicas em rochas, que ocorrem em agregados e se caracterizam por estriações que iniciam no ápice e terminam na base de cada cone. O tamanho dos mesmos varia bastante, mas, segundo Dietz (1972), já foram encontrados cones de alguns centímetros a mais de 10 m. Vale salientar que tais estruturas cônicas nunca foram encontradas associadas a processos vulcânicos ou tectônicos, mas unicamente ligadas a fenômenos de impacto (Offield e Pohn, 1979), sendo por isso um importante critério de reconhecimento de antigas crateras de impacto ou astroblemas.

No Domo de Araguainha foram encontrados *shatter cones* em dois locais: um na borda W do núcleo central e, o outro, na borda NE, ambos em arenitos da Formação Furnas (Fotos 2 e 3). Em seção delgada, o arenito que exibe *shatter cones* apresenta-se metamorificado, com recristalização de quartzo e desenvolvimento de muscovita e biotita, apresentando faixas com textura cataclástica.

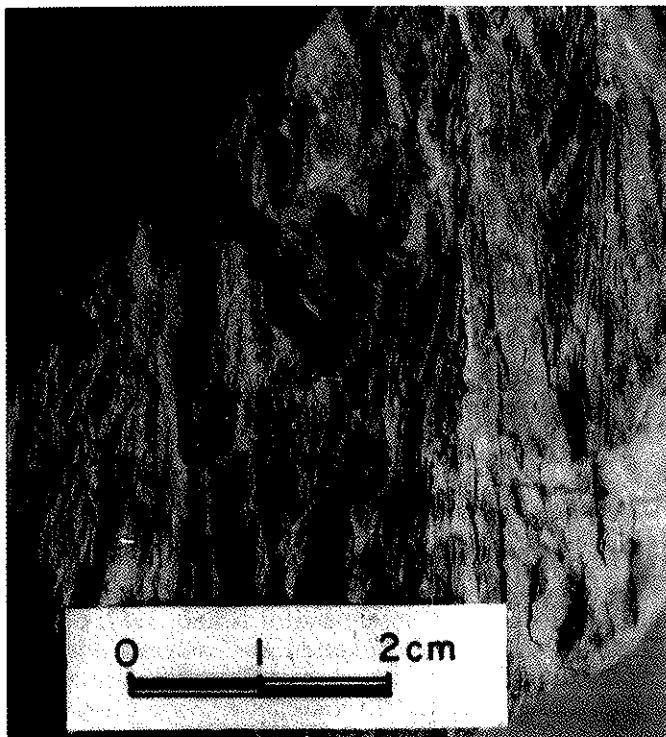


Foto 2 — Shatter cones em arenito cinza da Formação Furnas. Porção W do núcleo

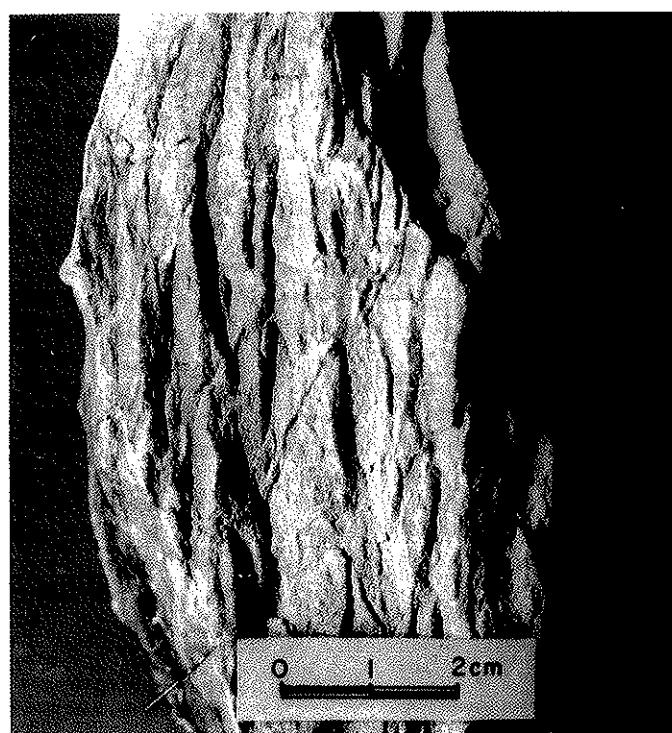


Foto 3 — Shatter cones em arenitos brancos da Formação Furnas. Porção NE do núcleo

Feições microscópicas ROCHAS GRANÍTICAS As rochas de constituição granítica, que provavelmente constituem um bloco do Embasamento Cristalino soerguido em reação ao impacto, apresentam efeitos de deformação de diferentes intensidades. Observam-se desde amostras nas quais as características texturais e mineralógicas ainda são reconhecíveis, apesar das deformações já existentes, até amostras tão transformadas (com intensa cataclase, deformação e vitrificação) cuja derivação granítica é interpretada pela correlação de feições macroscópicas, pois as características microscópicas dos minerais originais se apresentam obliteradas (Foto 4a e b).

Em amostras menos deformadas, reconhece-se a associação quartzo-feldspato potássico-plagioclásio-muscovita-biotita, como associação mineralógica principal, constituindo o feldspato potássico megacristais de até 6 cm (Foto 5). Todos os minerais participantes dessa assembléia apresentam feições de deformação. Forte cataclase e deformação mecânica são reconhecidas em todas as amostras analisadas.

Os efeitos de deformação mecânica são bem evidenciados nos feldspatos, nos quais fraturas limitadas ao grão e deformação (Fotomicrografia 1) são feições comuns.

De particular importância é o desenvolvimento de estruturas planares e de *kink bands* em minerais dessas rochas.

Estruturas planares em quartzo, feldspatos e outros minerais formadores de rocha são descritas em praticamente todas as estruturas de impacto (Chao, 1967; French, 1967; Short, 1975; e King, 1976).

Feições semelhantes são identificadas nas amostras de rochas graníticas do Domo de Araguainha, seja em grãos de quartzo, nos quais são reconhecíveis ao microscópio

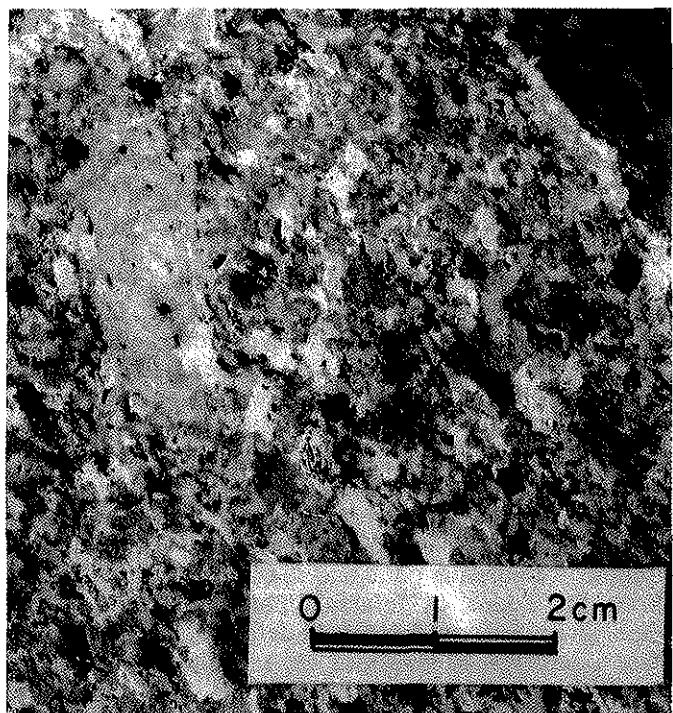
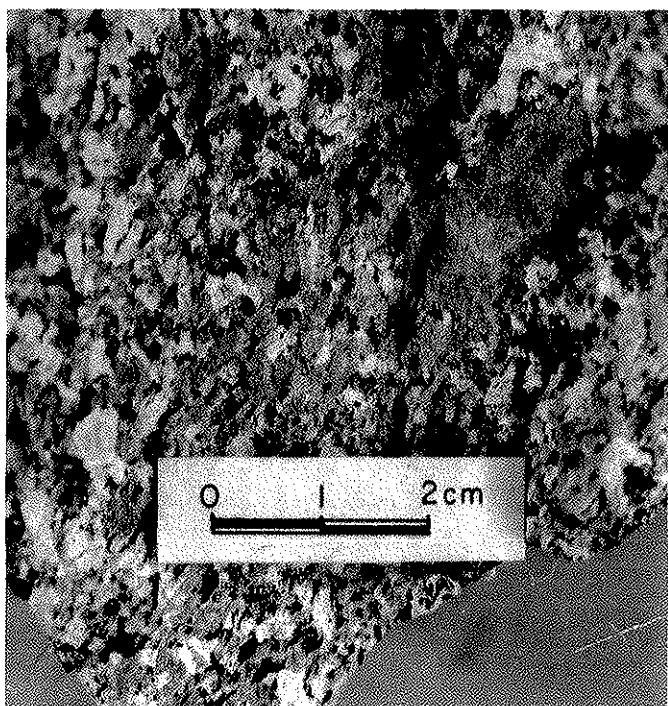
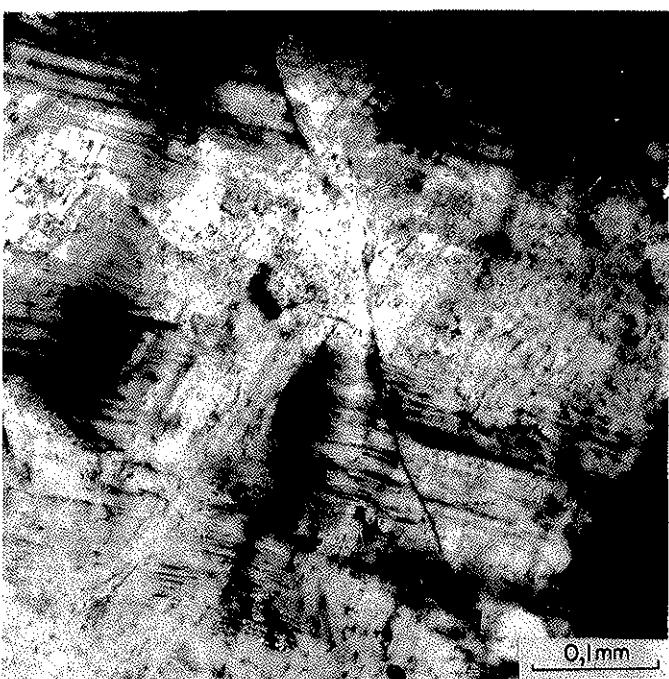


Foto 4 — Aspecto textural de rocha de composição granítica — a: rocha granítica menos deformada, apresentando megacristais de feldspato potássico; b: rocha granítica mais deformada, na qual os grãos se apresentam mais estirados. Embora correlacionáveis macroscopicamente, os minerais a-b apresentam propriedades ópticas obliteradas

de uma a três direções de estruturas planares no mesmo grão, com a grande maioria exibindo-as em uma ou duas direções (Fotomicrografia 2), como também em grãos de feldspato (Fotomicrografia 3) e em minerais micáceos (Fotomicrografia 4).



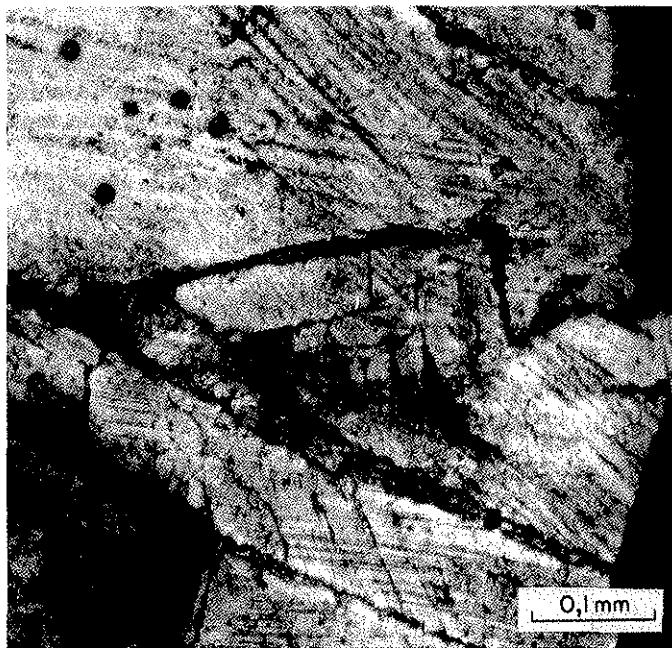
Foto 5 — Rocha de composição granítica, aflorante no centro do núcleo soerguido do Domo de Araguainha, exibindo megacristais de feldspato potássico com até 6 cm de comprimento



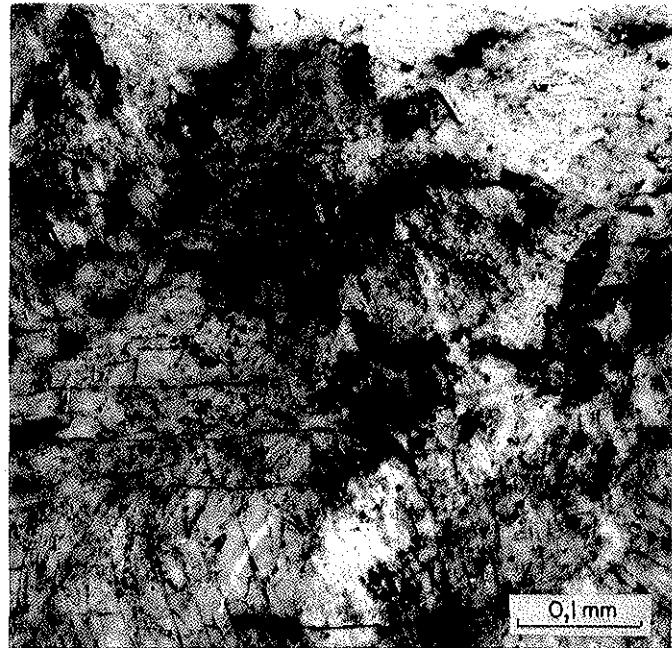
Fotomicrografia 1 — Efeitos de deformação mecânica em feldspato potássico (polarizadores cruzados)

A formação de *kink bands* em muscovitas e biotitas, outra feição comum em impactitos (Chao, 1967; e King, 1976), é facilmente reconhecida nos minerais micáceos das rochas graníticas deste domo (Fotomicrografia 5).

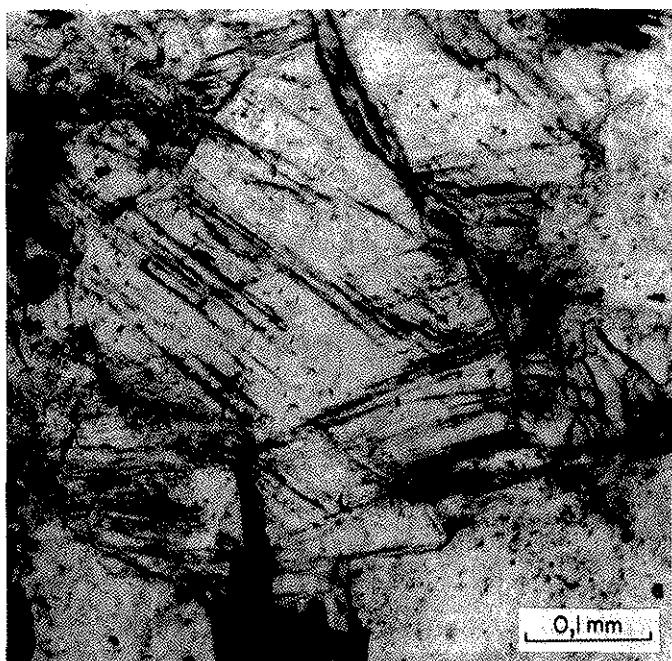
Feições de deformação mais intensa são observáveis em rochas graníticas cuja derivação só é possível através de correlações texturais e mineralógicas macroscópicas (Foto 4).



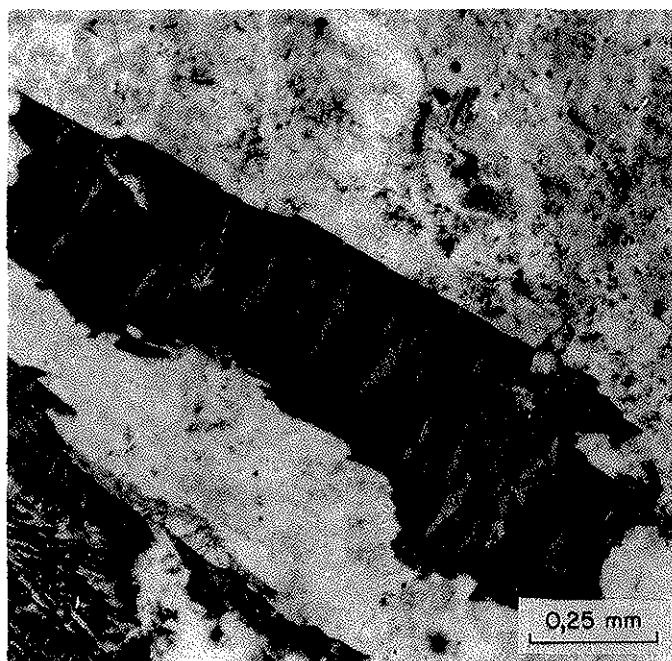
Fotomicrografia 2 — Estruturas planares, em duas direções, em grão de quartzo (polarizadores cruzados)



Fotomicrografia 4 — Estruturas planares, em duas direções, em seção basal de muscovita (polarizadores descruzados)



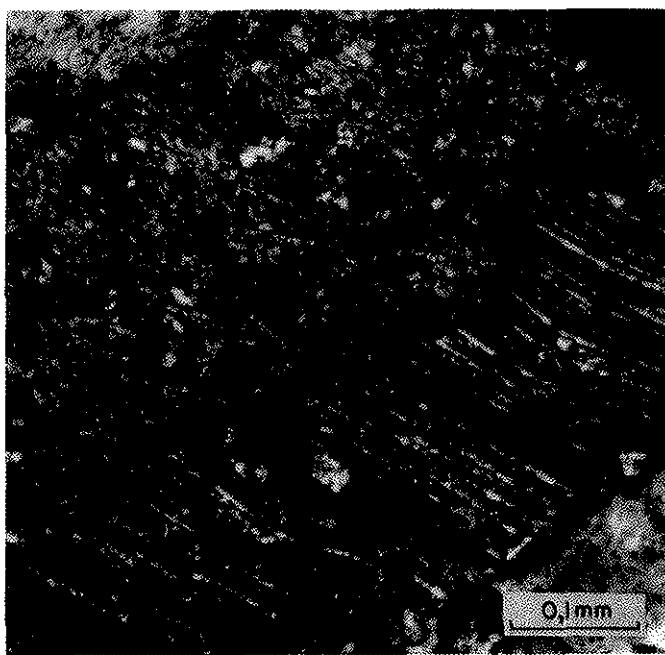
Fotomicrografia 3 — Estruturas planares, em duas direções, em cristal de feldspato, em rocha granítica (polarizadores cruzados)



Fotomicrografia 5 — Desenvolvimento de kink bands em biotitas (polarizadores cruzados)

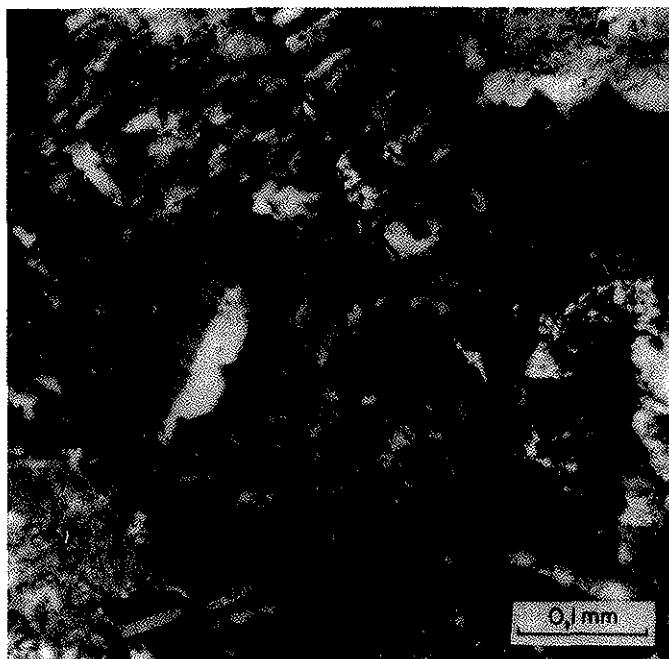
Em seção delgada, os grãos de feldspato dessas rochas, apesar de preservarem a morfologia original, apresentam-se compostos por um mosaico de domínios cristalinos desordenados, que interrompem planos de geminação, obliterando a continuidade óptica. Em outras áreas da mesma amostra, os cristais de feldspato, ainda reconhecíveis por critérios texturais morfológicos, apresentam-se compostos por um agregado cristalino heterogêneo, extremamente fino, sugerindo ter sido o felds-

pato convertido *in situ* para material vítreo, e o que se observa agora, é o material devitrificado (Fotomicrografia 6). A transformação seletiva de minerais do estado cristalino para fase amorfa, em estado sólido (sem fusão), na qual a fase vítreia retém as feições texturais e morfológicas da fase cristalina original, é exemplificada por vários autores como produto de metamorfismo de impacto (Chao, 1967; French, 1967; e King, 1976). Tal fase foi denominada por Chao (1967) *thetomorphic*.



Fotomicrografia 6 — Grão de feldspato em rocha granítica mais deformada. Apresenta-se como agregado de material cristalino extremamente fino, sugerindo material devitrificado. A morfologia original do grão é conservada e reconhecida textualmente, notando-se ainda vestígios da geminação polissintética original (polarizadores cruzados)

Ainda em outras áreas da mesma amostra, nota-se o desenvolvimento, a partir de uma massa microcristalina de forma irregular, de pequenos cristais prismáticos, de formas euédricas, com geminação tipo Carlsbad, que sugerem tratar-se de feldspato potássico, talvez sanidina.

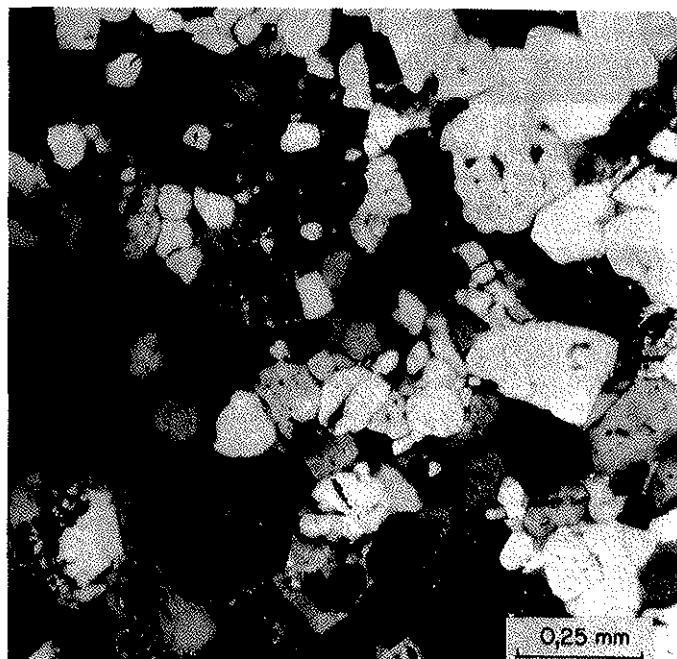


Fotomicrografia 7 — Desenvolvimento de diminutos cristais de forma prismática, a partir de material devitrificado. O cristal maior, na foto, apresenta geminação tipo Carlsbad (polarizadores cruzados)

No entanto, apresentam dimensões tão diminutas que observações ópticas rotineiras são imprecisas (Fotomicrografia 7). Tal recristalização sugere que a velocidade de resfriamento da rocha tenha sido suficientemente lenta de modo a permitir, mesmo que parcialmente, uma melhor recristalização das massas vítreas.

O quartzo, nessas rochas, apresenta-se em agregados policristalinos de pequenos grãos (Fotomicrografia 8). O quartzo nesses agregados não apresenta feições de deformação mecânica, podendo representar quartzo menos deformado ou, o que é mais provável, formado a partir da recristalização de material vítreo ou de próprio quartzo.

Além das feições acima citadas, ocorre nessas rochas a oxidação de minerais que contêm ferro, outra feição também reconhecida em impactitos (King, 1976; e Papunem, 1973). Essa oxidação pode ser observada em biotita, que se torna impregnada de pequenos pontos de óxido de ferro.



Fotomicrografia 8 — Quartzo com textura em mosaico, formando agregados de pequenos cristais, sem feições de deformação (polarizadores cruzados)

BRECHAS As brechas analisadas são polimicticas e muito ricas em material vítreo, seja como matriz, seja como fragmentos. As dimensões dos fragmentos nessas brechas são extremamente variáveis, de alguns centímetros a decímetros (Foto 6).

Os fragmentos inclusos em matriz vítreia, geralmente devitrificada, são constituídos por:

- *Fragmentos de quartzo*, por vezes, arredondado nos quais são ainda reconhecíveis estruturas planares em duas direções semelhantes às já descritas.
- *Aggregados policristalinos de quartzo*. Estes agregados apresentam formas externas arredondadas ou ovaladas e são constituídos por um agregado de pequenos cristais de quartzo, sem feições de deformação. Tanto poderiam representar produto de recristalização de material vítreo si-

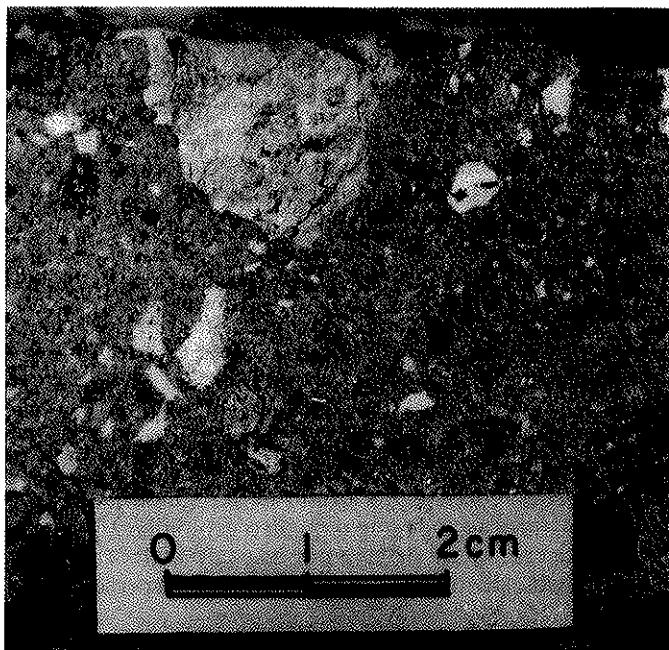


Foto 6 — Aspecto macroscópico de brecha polimíctica, notando-se os vários tipos de fragmentos. A matriz desta amostra é vítrea, com porções devitrificadas

licoso, como podem representar seixo de quartzo recristalizado (French, 1967; e McHone, 1979) (Fotomicrografia 9).

• **Fragmentos de material devitrificado.** Muito abundantes, apresentam-se sob formas angulares, reconhecendo-se ainda estruturas fluidais. Com a devitrificação, produzem uma massa microcristalina de quartzo e calcedônia (Fotomicrografia 10).

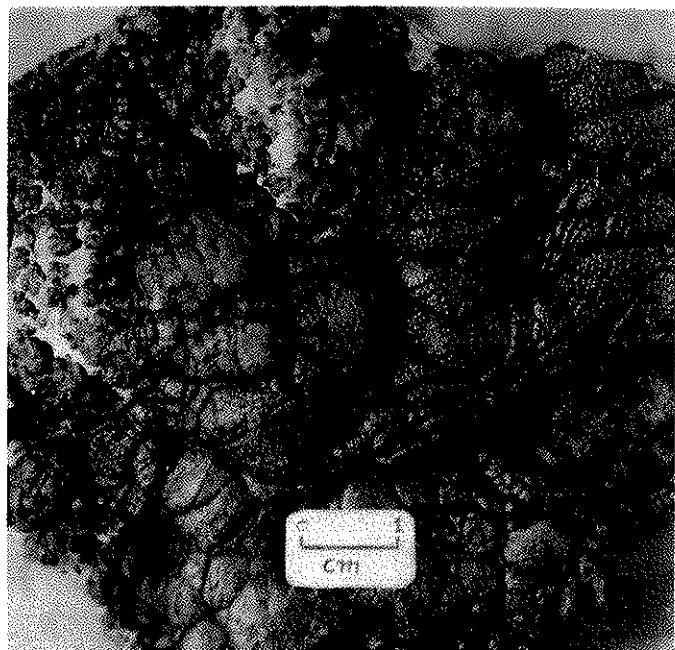
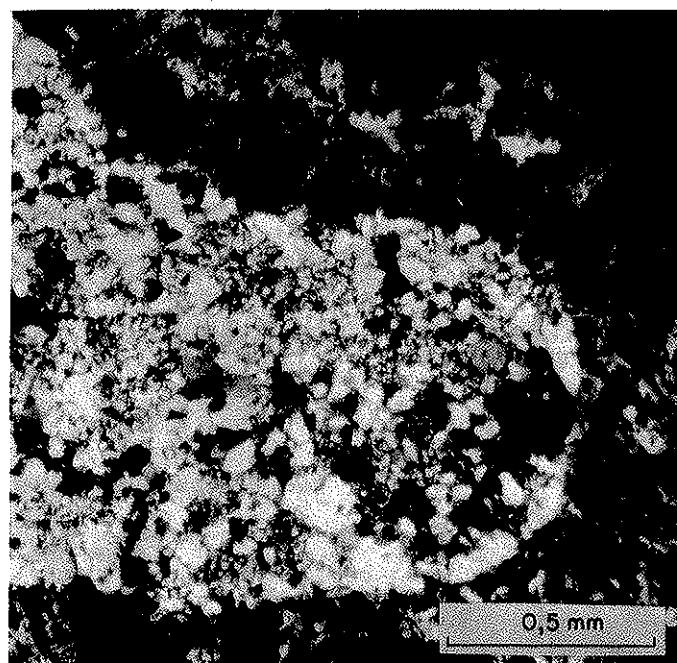


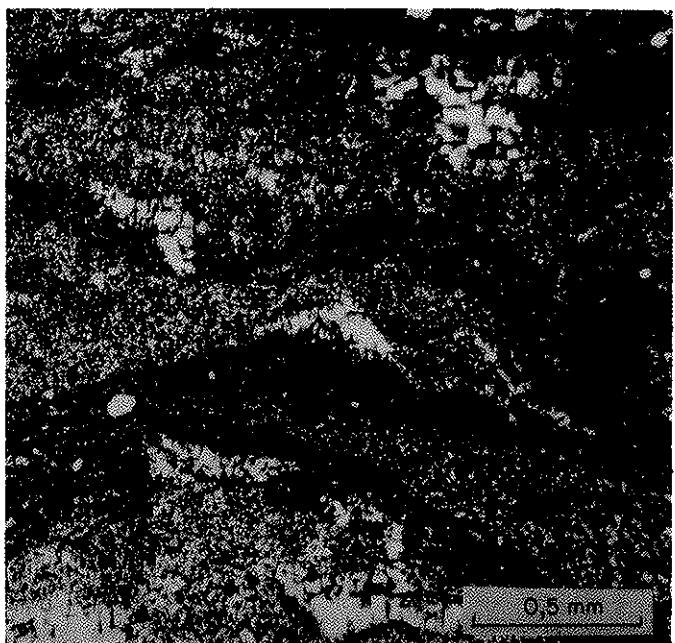
Foto 7 — Hematita globular

A matriz das brechas é constituída em sua maioria por material vítreo com textura fluidal, geralmente devitrificado, produzindo massas microcristalinas, às vezes fibro-radiadas, de quartzo e calcedônia. Em algumas amostras, a matriz apresenta-se muito impregnada de óxidos de ferro, adquirindo a rocha uma coloração quase preta.

É digna de nota a ocorrência, em meio a fragmentos angulares da brecha, de material constituído de hematita, com formas bizarras, mas geralmente globulares, ou materiais lisos com estriadas (Foto 7 e 8).



Fotomicrografia 9 — Agregados policristalinos de quartzo, muito freqüentes nas brechas, ocorrem com formas externas arredondadas ou ovaladas, e são constituídos por um mosaico de pequenos grãos de quartzo. A matriz apresenta recristalização fibro-radiada (polarizadores cruzados)



Fotomicrografia 10 — Fragmento de material vítreo, devitrificado, contido em brecha polimíctica, no qual se reconhece a estrutura fluidal, com porções devitrificadas produzindo calcedônia fibro-radiada (polarizadores cruzados)

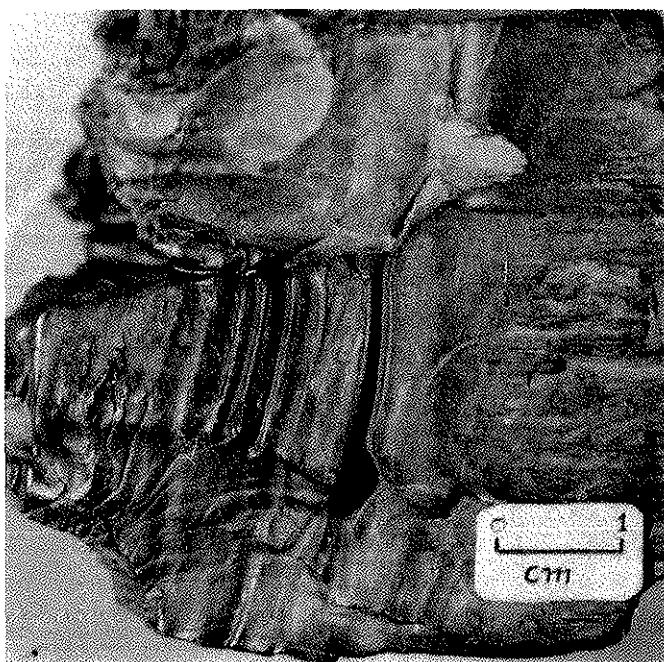


Foto 8 — Hematita lisa, com estrias

CONCLUSÕES O exame do conjunto de feições macro e microscópicas exibido pelas amostras descritas neste trabalho, à luz do conhecimento adquirido por diversos autores através do estudo exaustivo de estruturas similares em vários países, nos leva a concordar com a hipótese

proposta por Dietz *et al.* (1973), de que o Domo de Araguainha se tenha formado pela colisão de um corpo celeste de grandes dimensões com a superfície da Terra.

De fato, a associação, numa mesma estrutura circular, de feições como *shatter cones*, estruturas planares e intensa oxidação em minerais diversos, *kink bands*, passagem de minerais do estado cristalino para fase amorfa sem fusão, ocorrência de brechas polimicticas num núcleo soerguido e tantas outras é mundialmente aceita como diagnóstico da origem dessa estrutura por fenômeno de impacto.

Adendo Quando da finalização deste estudo, tivemos oportunidade de consultar o trabalho de Teilen-Willige, na época inédito e publicado recentemente pela Rev. Bras. Geoc. 11(2), no qual são descritos aspectos morfológicos, petrográficos e estruturais, além de analisados dados aeromagnéticos do Domo de Araguainha. A conclusão da autora é a de que o quadro geológico ali presente permite crer numa origem por impacto meteorítico, em consonância, portanto, com este trabalho apresentado.

Agradecimentos Os autores agradecem ao Prof. Yushiro Kihara, pela obtenção das fotomicrografias, e ao Dr. Gilberto Amaral, pela discussão e revisão do texto. Um dos autores, Álvaro P. Crósta, agradece ainda ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo apoio financeiro que possibilitou este trabalho, à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela concessão de bolsa de pós-graduação, e, em especial, ao Geólogo Teodoro Isnard Ribeiro de Almeida, pelo auxílio nos trabalhos de campo.

BIBLIOGRAFIA

- CHAO, E.C.T. — 1967 — Impact metamorphism, in *Researches in Geochemistry*, vol. 2, Abelson, P.H. ed., John Wiley and Sons, pp. 204-233.
- DENCE, M.R. — 1972 — The nature and significance of terrestrial impact structures, in *Terrestrial Cryptoexplosion Features*. XXIV Internat. Geol. Cong., Montreal 1972, Sec. 15, pp. 77-89.
- DIETZ, R.S. — 1972 — Shatter cones (shock fractures) in astroblemes, in *Terrestrial Cryptoexplosion Features*. XXIV Internat. Geol. Cong., Montreal 1972, Sec. 15, pp. 112-118.
- DIETZ, R.S., FRENCH, B.M. e OLIVEIRA, M.A.M. — 1973 — Araguainha Dome (GO) and Serra da Cangalha (MT): probable astroblemes. XXVII Congr. Bras. Geol., Aracaju, Bol. n° 1, pp. 102-103 (resumo das comunicações).
- FRENCH, B.M. — 1967 — Sudbury Structure, Ontario: Some Petrographic Evidence for an Origin by Meteorite Impact. NASA, Goddard Space Flight Center, Greenbelt.
- KING, E.A. — 1976 — Space Geology — an Introduction. John Wiley and Sons. Inc., pp. 131-150.
- McHONE, J.F. — 1979 — Riachão Ring, Brazil: a possible meteorite crater discovered by the Apollo astronauts. Apollo-Soyus Test Project, Summ. Sci. Rep., vol. II., pp. 193-202.
- NORTHFLEET, A.A., MEDEIROS, R.A. e MUHLMANN, H. — 1969 — Reavaliação dos dados geológicos da Bacia do Paraná. Bol. Tec. Petrobrás, vol. 12(3), 291-346.
- OFFIELD, T.W. e POHN, H.A. — 1979 — Geology of the Decaturville Impact Structure, Missouri. U.S. Geol. Surv. Prof. Paper, 1042.
- PAPUNEM, H. — 1973 — Chemical Composition and Origin of the Shock Metamorphic Rocks of the Saaksjarvi Area, Finland. Bull. Geol. Soc. Finland, (45):29-34.
- SHORT, N.M. — 1975 — Planetary Geology. Prentice-Hall Inc., pp. 76-97.
- SILVEIRA FILHO, N.C. e RIBEIRO, C.L. — 1971 — Informações geológicas preliminares sobre a estrutura vulcânica de Araguainha, MT. DNPM, relatório interno, Goiânia (inédito).
- TEILEN-WILLIGE, B. — 1980 — The Araguainha impact structure Central Brazil. Rev. Bras. Geoc. 11(2).

Recebido em 12 de dezembro de 1980.