

UM CONDRITO DE SÃO JOSE' DO RIO PRÊTO (*)

por

J. M. V. COUTINHO

Departamento de Petrologia — Fac. Fil., Ciên. Letras, USP

F. M. ARID

Professor de Geologia — Fac. Fil., Ciên. Letras, USP

ABSTRACT

A meteorite was found 12 km W of São José do Rio Prêto, State of São Paulo, Brazil ($20^{\circ} 48' 36''$ S and $49^{\circ} 22' 50''$ W). The fall is said to have been witnessed by a farmer who reported that it occurred with a loud noise, 3 m distant from him. However the expected crater was not found in the ground. He said the stone came from the SW in a probable 45° angle with the horizon.

Its shape resembles a tetrahedron measuring 7,0 cm in height and 7,0 cm along its longest edge. The faces look varnished and show striations and other undulatory marks.

The stone weighed 927 g. before cutting, and its measured density is 3,597.

Megascopically it exhibits a brechoid structure. Under the microscope it shows the characteristics of a typical chondrite since it is made up of many chondrules of different forms, sizes and mineral composition.

Chondrules mono- and polisomatic (olivine and/or orthopyroxene) with rounded boundaries prevail. Crushed crystalline fragments and glass, showing evidence of incipient recrystallization, constitute the bulk of the matrix.

Chemical analysis was made which gave the following results: SiO_2 — 37,50; Al_2O_3 — 7,73; CaO — 1,92; MgO — 24,20; MnO — 0,30; Na_2O — 0,93; K_2O — 0,16; Ni (total) — 1,84; Fe (total) — 24,00.

Spectroscopically Cu was found to occur in small amounts and Ti, Co and Zn in traces.

INTRODUÇÃO

No dia 14 de agosto de 1962, às 8,00 horas, a 300 m SW da sede da Fazenda Urtiga, Município de São José do Rio Prêto, Raimundo Gouveia Salgado testemunhou a queda de "estranho" corpo

(*) — Com o auxílio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo.

celeste. A referida fazenda é de propriedade do Senhor João Bastos e se localiza a cêrca de 12 km da cidade de São José do Rio Prêto, na rodovia municipal que a liga a Mirassolândia. São José do Rio Prêto está situada no Estado de São Paulo, Brasil e tem como coordenadas geográficas: 20° 48' 36" 6 de Latitude Sul e 49° 22' 50" 0 de Longitude Oeste (GR.).

O fragmento caiu com forte ruído a 3 metros de distância da testemunha, sem contudo deixar cratera. As informações permitiram-nos precisar um rumo SW-NE para o deslocamento do fragmento que se projetou ao solo em grande velocidade e ângulo de mergulho ao redor de 45°. Os dados de rumo, velocidade e ângulo de mergulho se baseiam nas informações colhidas e devem ser tomados com reservas.

O objeto, coletado 30 minutos após a queda, mantinha ainda uma temperatura alta, não tendo sido possível, inclusive, tocá-lo imediatamente.

Notícias do acontecimento levaram um dos autores ao local tendo sido a peça gentilmente cedida pelo proprietário da fazenda, para os estudos necessários. O fragmento se encontra, atualmente, conservado e arquivado no Museu do Departamento de Geologia e Paleontologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de São José do Rio Prêto.

Devemos registrar nossos agradecimentos ao sr. Raimundo Gouveia Salgado pelas preciosas informações fornecidas e ao sr. João Bastos pela gentileza e colaboração que sempre nos dispensou. À Sra. Carminda C. Landim, do Departamento de Biologia da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Rio Claro, nossa gratidão pela atenção com que nos colocou, à disposição, o serviço de micro-fotografia daquele Departamento.

DESCRIÇÃO

O estudo da morfologia do fragmento mostra que, externamente, êle é negro e parece ser resistente, duro e de textura firme; porém, pequenos pedaços se desintegram, fàcilmente, sob pressão.

Sua forma é poliédrica irregular lembrando um tetraedro com arestas arredondadas (Fig. 1). Essa forma é característica para es-

pécimes individuais de uma possível “chuva” meteorítica (Krinov, 1960, pg. 190).

Apresenta seis faces irregulares, chamadas de 1.º tipo (Krinov, 1960, pg. 190) caracterizadas por marcas provenientes de ação atmosférica, mais ou menos prolongada, durante o “vôo” (abrasão, fusão e remoção de matéria); são relativamente polidas e possuem finas estrias paralelas; algumas faces apresentam leves ondulações regmaglípticas. Uma única face, chamada de 2.º tipo (Krinov, 1960, pg. 190), exhibe apenas traços insignificantes da ação atmosférica, não são polidas, guardam ainda irregularidades e são grosseiras, características típicas de fratura recente, que ocorreu, possivelmente, próximo à queda. Realmente, a superfície negra que reveste o fragmento nesta face, ou é muitíssimo fina, imperceptível, ou não existe.

A forma poliédrica é comum em meteoritos condrícticos e se explica pela tendência de se quebrar em planos estruturais (Krinov, 1960, pg. 237). Algumas faces são convexas, sempre mais polidas e estriadas que outras mais irregulares e onduladas.

A posição das faces, as estrias e as ondulações sugerem que, após a ruptura do corpo meteorítico original, o fragmento em estudo manteve, aproximadamente, a mesma orientação durante o vôo e foi submetido a maior ação atmosférica na parte frontal que se tornou mais polida e convexa.

Os elementos mais interessantes do relêvo superficial são os regmagliptos (ou piezogliptos) que parecem ser “impressão de dedos em barro mole” (Krinov, 1960, pg. 215); são alongados, arredondados ou poligonais e seu tamanho é bastante variável.

O relêvo regmaglíptico no caso presente não é nítido, talvez devido ao pequeno tempo decorrido entre a fragmentação e a queda (Krinov, 1960).

A crosta de fusão, a mais evidente característica meteorítica, é negro-escura, extremamente fina (inferior a 0,5 mm) constituída, fundamentalmente, de limonita, formada secundariamente, e reveste todo o fragmento, com exceção da superfície de fratura fresca.

A constituição limonítica da crosta, revela a ação da atmosfera que teria atuado sobre a superfície externa em estado de fusão, determinando a oxidação do material primário, durante o resfriamento rá-



Foto 1 — À esquerda, aspecto externo do condrito de São José do Rio Preto. Forma tetraédrica, crosta de fusão negra e relêvo ondulado regmaglítico. À direita, superfície serrada mostrando a estrutura brechoide macroscópica e a massa mais fina, formada de côneulos e corpos metálicos.

pido que se processava durante a queda. A estrutura da crosta é incompleta apresentando apenas a camada mais externa e mais fina, vítrea, negra e opaca, chamada “zona de fusão”. Não foram reconhecidas a “zona de absorção” e a “zona de impregnação” (seg. Chermak, in Krinov, 1960).

A superfície serrada, feita paralelamente a um plano de fratura, mostra uma estrutura brechóide, com fragmentos de tamanhos diferentes, mais arredondados que os descritos por Amaral (1962) em meteorito de Mato Grosso. Não obstante, o plano de fratura de impacto parece não ter dependido dessa estrutura interna pois atravessa indiferentemente os fragmentos e a matriz do corpo.

A observação da superfície serrada e polida mostra-nos um interior mais claro, cinza, com numerosos pontos metálicos brilhantes, dispersos na massa principal (Fig. 2). São grãos minúsculos em tons cinzento de ferro ou pardo de bronze. Os primeiros são atraídos por ímã manual e os últimos, não.

A peça em estudo afeta a bússola e é atraída por ímã; porém, não se percebe nenhuma polaridade magnética. Seu pêso, antes de serrada, foi de 927 g.

Serrou-se fatia de 60 gr, fração da qual foi encaminhada ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas para a análise química e espectrográfica. A outra fração foi utilizada na confecção de lâminas delgadas e na preparação de placa polida para os estudos em luz refletida.

A densidade da amostra foi determinada por balança de Stöe e obteve-se valor igual a 3,597 (após fervura de 30 minutos). Imerso em água o meteorito borbulha intensamente indicando alto grau de porosidade, fato êsse expresso na diferença entre o valor da densidade obtida experimentalmente e o seu valor calculado (3,794).

O volume do fragmento, serrado e polido, é igual a 245 ml; as maiores dimensões registradas são: aresta (7,0 cm) e altura (7,0 cm).

EXAME MICROSCÓPICO

Estrutura

A estrutura interna ao microscópio é condrítica mostrando o típico aspecto geral brechóide formado por fragmentos arredonda-

dos ou cõndrulos (fotomicr. 1 a 4). Estes grânulos, medem de 0,1 a 2 mm e são normalmente equidimensionais, mas também alongados, elípticos, regulares ou irregulares.

Os cõndrulos são mono ou polissomáticos, formados, essencialmente de olivina e/ou ortopiroxênio. Nêles, a olivina aparece ora como monoçrístais isolados e límpidos, ora em cristais alinhados paralelamente ou ainda em agregados de cristais granulares, idiomorfos. Às vêzes (cõndrulos polissomáticos) a olivina está associada a ortopiroxênio. Êste apresenta-se em hábito acicular, fibro-radiado ou decussado, penado ou estrelado. Nestes casos também aparece material vítreo intersticial. Tôdas estas variedades já são bastante familiares aos estudiosos de meteorítica (Battey, 1962).

Encontramos ainda, nos cõndrulos, cristais de olivina intercrescidos com cristais de ortopiroxênio ou misturas granulares finíssimas.

Os cõndrulos se acham mergulhados em matriz constituída de pequenos cristais de olivina e ortopiroxênio, entre os quais se observa, raramente, manchas de material finíssimo, provàvelmente fragmentos cristalinos triturados e sujos, que por vêzes, evidenciam recristalização incipiente em habitus alongado.

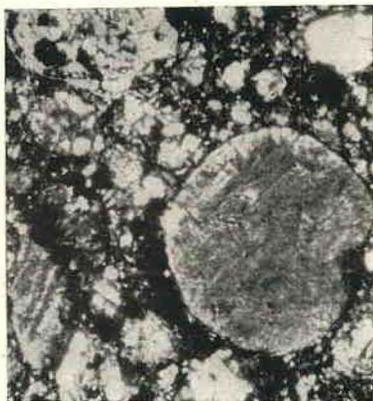
Constituição Mineralógica

TABELA I

| | % Vol | % Pêso |
|----------------------|-------|--------|
| Olivina Fa_{25} | 45,4 | 42,1 |
| Ortopirox. Fs_{18} | 43,6 | 39,0 |
| Troilita | 3,7 | 4,7 |
| Ferro | 7,3 | 14,2 |



Fotomicrografia 1 — Côndrulos em matriz formada por cristais de olivina, cristais moídos em escala sub-microscópica e vidro. O cône drulo maior, salpicado de metal e troilita é constituído de “rocha” olivínico-piroxênica, fina. Os menores, são essencialmente olivínicos. Notar em baixo à direita um cône drulo monocristal de olivina canelurada. Nicóis cruzados, ampliado 28 vêzes.



Fotomicrografia 2 — Cône drulos de diversos tamanhos e estruturas, em matriz como na fotomicrografia 1. O cône drulo maior é formado por cristais esqueléticos de ortopiroxênio. No canto esquerdo superior, cône drulo de agregado olivínico e vidro intersticial. Nicóis cruzados, ampliado 28 vêzes.

1 — *Fração transparente*: entre os minerais transparentes foram identificados:

a) — *Olivina*: é o mineral predominante da fração. Apresenta-se normalmente límpida nos cône drulos mono e polissomáticos. Outras vêzes aparenta hábito esquelético por forte caneluração segundo o eixo *c*. Aparece ainda em pequenos cristais na matriz. Suas propriedades ópticas, determinadas por imersão em líquidos e à platina universal, forneceram: $N_y = 1,705$ e $2V_x = 84^\circ$ o que indicam tratar-se de crisolita com cêrca de 25% de moléculas ferrosas de faialita (Kennedy in Troger, 1959).

b) — *Ortopiroxênio*: é o mineral que segue a olivina em importância no meteorito. Exceto quando forma cône drulos fibro-radiados,

êle é dificilmente distinguível da olivina (é também incolor, transparente de alto relêvo e sua clivagem é irregular).

Os caracteres mais distintivos residem na sua baixa birrefringência e extinção, por vêzes pouco inclinada. As propriedades ópticas determinadas ($N_y = 1,683$ e $2V_x = 80^\circ$) classificam-no como bronzita com 18% de moléculas ferrosas de ortoferrossilita (H. H. Hess in Troger, 1959).



Fotomicrografia 3 — Conjunto de três cõndrulos maiores, formados de ortopiroxênio em estruturas variadas. Matriz como em 1. Nicóis cruzados, ampliado 28 vêzes.



Fotomicrografia 4 — Estrutura decussada ou estrelada de um dos cõndrulos da fotomicrografia 3, constituído essencialmente de ortopiroxênio, com vidro intersticial. Nicóis cruzados, ampliado 175 vêzes.

c) — Entre os minerais transparentes foram observados raros cristais arredondados com a aparência de apatita. Trata-se provavelmente de *merrilita*. É uniaxial, negativo, transparente, incolor e sem clivagem. Sua presença foi suspeitada quando notamos cristais de relêvo menos acentuado que os da olivina e do ortopiroxênio. À platina universal, confirmou-se sua baixíssima birrefringência.

Parece, pois, tratar-se de mineral do grupo da apatita e que os autores já demonstraram tratar-se de *merrilita* ($Na_2Ca_3P_2O_8$).

d) — Manchas de material sujo, finíssimo encontrado também em inclusões em cristais de olivina e ortopiroxênio, poderão ser, even-

tualmente, atribuídas a vidro meteórico, provavelmente com composição plagioclásica (maskelynita) (Krinov, 1960).

2 — *Fração Opaca*: Na massa meteorítica distribuem-se regularmente pequenos corpos metálicos cinzentos ou pardacentos (Fig. 2). Os primeiros são cristais de *ferro-níquel* e os últimos *troilita* (FeS). Formam massas amebóides e esponjosas, parecendo, as maiores, se amoldar contra os côneos. Os cristais de ferro-níquel são freqüentemente maiores que troilita. Os minerais opacos apresentam variação muito grande no tamanho dos grãos tendo-se observado o limite superior de 2 mm mas, em lâmina, graduam-se até as proporções de poeira finíssima, micrométrica, incluída na matriz e em menor porção, nos côneos.

Tanto o metal como o sulfeto foram identificados, inicialmente com base nos seus característicos físicos mais evidentes: cor de reflexão e imantação. Os cristais que revelaram alto grau de magnetismo são os de ferro-níquel, enquanto a troilita é pouco ou nada atraída pelo ímã manual.

A troilita, atacada por ácido clorídrico desprende gás sulfídrico, resultando um precipitado amarelado (FeCl₂). A reação confirmou tratar-se de sulfeto de ferro "cósmico", troilita, pela impossibilidade da ocorrência, nas circunstâncias do estudo, dos demais sulfetos meteoríticos (Krinov, 1960, pg. 336).

À luz refletida os grãos da liga ferro-níquel mostraram sugestivas estruturas de taenita e kamacita.

Os bordos dos minerais opacos, especialmente de ferro-níquel, infiltram-se pelos silicatos, manchando-os de uma ferrugem limonítica que deve ser atribuída a uma rápida hidratação e alteração durante a passagem do fragmento pela atmosfera e nos dias que precederam a laminação.

Pequenas manchas arredondadas e opacas e que, à luz refletida, parecem pretas, sem brilho, foram identificadas como *grafita*; aparecem isoladas e independentes dos outros minerais opacos.

A análise do meteorito de São José do Rio Preto foi efetuada nos laboratórios do Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo e tiveram a responsabilidade do sr. Pedro Santini. O cromo, cobre, titânio, cobalto e zinco foram determinados espectrograficamente, também naquele Instituto.

TABELA II
COMPOSIÇÃO QUÍMICA
MÉDIA DE AEROLITOS COMPARADA COM O CONDRITO
DE SÃO JOSÉ DO RIO PRÊTO

| | Composição média (Merrill) | S. José do Rio Prêto |
|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| SiO ₂ | 38,41 | 37,50 |
| Al ₂ O ₃ | 2,86 | 7,73 |
| CaO | 1,88 | 1,92 |
| MgO | 23,66 | 24,20 |
| MnO | 0,23 | 0,30 |
| Na ₂ O | 0,82 | 0,93 |
| K ₂ O | 0,16 | 0,16 |
| Ni (total) | 1,49 | 1,84 |
| Fe (total) | 26,87 | 24,00 |
| S | 1,89 | n.d. |
| Cr ₂ O ₃ | 0,40 | peq. quant. |
| Cu | 0,01 | traços |
| TiO ₂ | 0,16 | traços |
| Co (total) | 0,16 | traços |
| Zn | — | traços |
| Outros | 1,10 | — |
| TOTAL | 100,00 | 98,58 |

A análise química permitiu concluir que deve existir uma fase mineral contendo cal, soda, alumina e sílica não individualizada ou não identificada. Na realidade, os três primeiros óxidos não poderiam ser convincentemente explicados pela composição mineral da tabela I. É possível pois que uma pequena porcentagem do meteorito seja formada por plagioclásio escondido na forma de vidro. Sua composição seria aproximadamente labradorítica se considerarmos a relação CaO/Na₂O. De qualquer modo, nota-se ainda um excesso de Al₂O₃ para o qual não temos explicação plausível.

Entretanto, para os outros óxidos, observa-se concordância entre a média de composição química de aerolitos, calculada por Merrill (in Nininger, 1959) e a obtida no condrito em estudo.

A riqueza em sílica e magnésia que lhe confere caráter silicático, em conjunto com as propriedades físicas, morfológicas e estruturais descritas, permitem assim, caracterizar o aerolito em questão como um assiderito condrítico ou condrito.

BIBLIOGRAFIA

- AMARAL, S. E. (1962) — *Nota preliminar sôbre um meteorito caído no sul de Mato Grosso*. Bol. S.B.G., v. 11, n.º 2, pp. 5-19.
- BATTEY, M. H. (1962) — *The Wairarapa Valley, New Zealand, chondrite*. Min. Mag., v. 33, pp. 73-85.
- CURVELLO, W. S. (1958) — *Sulfetos meteoríticos*. Bol. Museu Nac. Nova série. Geologia n.º 27.
- KRINOV, E. L. (1960) — *Principles of Meteoritics*. Pergamon Press, N. Y.
- MASON, B. (1960) — *Composition de los meteoritos em Principios de Geoquímica*, pp. 29-34. Omega, Barcelona.
- NININGER, H. H. (1952) — *Out of the sky*. Dover Publ. Inc., New York.
- TROGGER, W. E. (1959) — *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale*. Teil I. Stuttgart.