

## CURVAS ESPECTRAIS DE ALGUNS CONDRIITOS BRASILEIROS.

*Paulo Roberto Martini*

*INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS*

*Avenida dos Astronautas 1758. São José dos Campos SP. 1227010*

*martini@dsr.inpe.br*

### RESUMO

Neste trabalho se apresentam as curvas espectrais de quatro meteoritos brasileiros do tipo conhecidos como condritos ordinários. Uma pequena síntese bibliográfica sobre o tema também é mostrada assim como descrições sucintas referentes às amostras e suas descobertas. Os picos e as selas das curvas combinam com assinaturas observadas na literatura consultada para meteoritos condriticos tipo L e H. Ao final se faz tentativamente uma análise sobre possíveis corpos parentais destes quatro meteoritos rochosos. Esta tentativa parte de medidas espectrais tomadas por telescópios e por sondas espaciais sobre asteroides silicosos Tipo S situados no ângulo do Cinturão. As curvas de laboratório e as tomadas remotamente não convergem fruto talvez dos regolitos gerados pelo intemperismo solar. Sugere-se ao final que os procedimentos de análise descritos neste artigo sejam estendidos para o conjunto de 71 meteoritos brasileiros cadastrados até 2017.

Palavras-chave — Curvas Espectrais, Condritos..

### ABSTRACT

The article presents spectral curves of four Brazilian meteorites known as ordinary chondrites. A small bibliographic review about spectral signatures of meteorites is also presented with brief descriptions about the samples and their discoveries. The designs of the curves match very well with the signatures observed in the reviewed literature about chondrite meteorites of types L and H. At the end a tentative analysis about parental bodies of the four rocky meteorites is done. This tentative is based on the spectral measurements obtained through telescopes and space probes over silicate asteroids of Type S located at the very center of the Belt. It was observed that S curves measured in the labs and by remote devices such as telescope and probes do not fit well with the curves of chondrites recovered on Earth. The cause maybe is the solar weathering that somehow changes the surface signatures of the S-asteroids. As a conclusion it is suggested that procedures described within this article could be extended to the others 71 known Brazilian meteorites recovered up to 2017.

Key-words: Spectral Signatures-Chondrites.

### 1. INTRODUÇÃO

São inúmeros artigos e sínteses dedicados ao estudo de meteoritos brasileiros sendo, talvez, o mais completo, o trabalho publicado por Gomes e Keil [1]. Neste e na quase totalidade das publicações, as análises são dedicadas aos atributos mineralógicos e químicos das amostras. Alguns de maior raridade são datados geocronologicamente dadas suas possíveis relações com a aurora do Sistema Solar e da formação dos planetas.

Análises dedicadas ao estudo de meteoritos segundo seus espectros são raros no Brasil estando neste contexto os objetivos deste artigo. Nele são apresentadas curvas espectrais de alguns meteoritos condriticos brasileiros. Estes meteoritos são do tipo “ordinário”, assim como são chamados no jargão internacional devido a serem em bem maior número do que os demais, tanto rochosos-acondriticos quanto metálicos. Este procedimento já possui uma longa história na Ciência Meteorítica tendo nascido junto com as medidas de curvas de asteroides feitas por Chapman e outros [2], Chapman [3], e as tomadas de reflectância de classes meteoríticas iniciadas por Gaffey [4]. Mais recentemente sondas planetárias passaram a tomar medidas mais próximas dos alvos como as feitas pela Near-Shoemaker dirigida ao Asteroide EROS de acordo com Anderson[5] e pelas sondas/veículos marcianos segundo Harrison [6].

### 2. MATERIAIS E MÉTODO

As quatro amostras estudadas neste artigo são: Putinga, Varre-Sai e Santa Vitória do Palmar com duas amostras.

A queda do Meteorito de Putinga foi amplamente observada por milhares de testemunhas e o corpo principal na serra que circunda a cidade homônima no interior do Rio Grande do Sul. Ela ocorreu na tarde do dia 13 de agosto de 1937. A queda do Meteorito Varre e Sai também teve testemunhas e foi encontrada em chácara nas cercanias da cidade que deu nome à rocha, no interior do Estado do Rio de Janeiro, próximo ao Estado do Espírito Santo. A queda ocorreu na madrugada do dia 19 de junho de 2010.

Os meteoritos de Santa Vitória do Palmar foram encontrados em campos de dunas. O primeiro no Balneário Hermenegildo e o segundo no extremo sul da Lagoa Mirim.

Estes dois sítios se localizam no interior do referido município gaúcho

As medidas foram tomadas no Laboratório de Radiometria do INPE em São José dos Campos. O instrumento utilizado foi o FieldSpec-3, espectro-radiômetro fabricado e calibrado pela ASD, acrônimo em inglês para Dispositivos Espectro Analíticos, empresa sediada em Boulder, Colorado, USA. O dispositivo permite registrar medidas no intervalo de 350-2500 nanômetros.

### 3. RESULTADOS

Excelente descrição petrográfica do Meteorito de Putinga pode ser encontrada em Gomes e Keil [1]. Em síntese trata-se de um condrito do tipo L que significa baixo conteúdo metálico mas predominante rochoso a base dos minerais olivina e hipersteno (ortopiroxeno). Seus côneulos são imperceptíveis a olho-nu indicando ter sofrido fortes tensões e mesmo metamorfismo de baixo grau. O Meteorito Varre-Sai é cópia-irmão com as mesmas características petrográficas do Putinga, de acordo com a página disponível no site Meteoritical Bulletin: <https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=53633>.

Descrições sobre as amostras de Santa Vitória do Palmar (SVP) são bem sintéticas e apresentadas em resumo por Zucolotto e outros [7]. Estes autores tratam de dois tipos de condritos (L e H) originados de Santa Vitória do Palmar. Estudamos aqui apenas aqueles do tipo H cujas amostras nos foram entregues pelo Curador do Museu local, Pesquisador J.M.P. Monzon. As duas amostras apresentam côneulos perfeitos e conteúdo metálico bem distinto daí serem classificados como condritos do tipo H. A mineralogia contém ainda olivina e ortopiroxênio bem mais ferroso conhecido como bronzita. Estes dois meteoritos possuem aparências notadamente mais escuras do que Putinga e Varre-Sai.

A Figura 1 mostra as curvas espectrais dos quatro condritos ordinários descritos anteriormente. De imediato percebe-se que existe uma diferença significativa nos níveis da Reflectância Relativa entre os tipos L6 (Varre-Sai e Putinga) e os dois tipos H denominados informalmente de S.V.Palmar 1 e 2 e que não devem ser confundidos com aqueles homônimos tipo L também descritos em Zucolotto e outros (op.cit.). Os valores de reflectância dos Hs de S.V.Palmar são bem inferiores aos Ls (Putinga e Varre-Sai). Aparentemente isto se deve ao fato de que os Hs possuem um piroxênio de mais baixo teor em cálcio (bronzita) e maior conteúdo de Fe-Ni livres. Estes atributos lhes dá uma aparência mais escura com côneulos negros grosseiros, euédricos, homogêneamente distribuídos em toda a amostra. Os tipos L tem uma matriz rochosa muito clara, côneulos quase imperceptíveis, piroxeno à base de hiperstênio, sem a presença de cálcio e muito baixo teor metálico (4-10% Fe-Ni livres) segundo as descrições de Gomes e Keil (1980) referentes ao Meteorito de Putinga.

Feições marcantes nas curvas dos dois condritos tipo L, além do casamento quase perfeito, são as seguintes:

- Pico de reflectância ao redor de 0,72 microns.
- Sela de baixa reflectância ao redor de 0.95 microns.
- Segundo pico de reflectância em 1.55 microns.
- Segunda sela de baixa reflectância em 1.98 microns.

Destas feições e aquelas mais conhecidas na literatura formam o pico em 0.72 microns e a sela em 0.95 microns, associadas à presença da olivina muito disseminada na matriz (pico) e do orto-piroxeno-hipersteno (sela) no meteorito. As feições para o lado distante do intervalo espectral (SWIR) medido se tratam mais das deformações e recristalizações ocorridas na história pré-terrestre dos Ls. Ambos mostram aspectos brechóides, típicos de impacto em seus corpos parentais (Gomes e Keil, op.cit.).

Feições notáveis nas curvas dos dois condritos tipo H, além também da marcante semelhança entre elas são as seguintes:

- Ausências de picos e de selas ao longo de toda a assinatura espectral.
- Níveis bem inferiores nos valores de reflectância quando comparados aos condritos tipo L.

Estas feições indicam uma história geológica diferente daquela prenunciada pelos meteoritos L. Aqui os condritos estão perfeitos sem sinais de deformações, recristalizações ou impactos mais violentos em seus corpos parentais. As olivinas estão circunscritas aos condritos e estes inseridos dentro de uma massa piroxenítica muito escura.

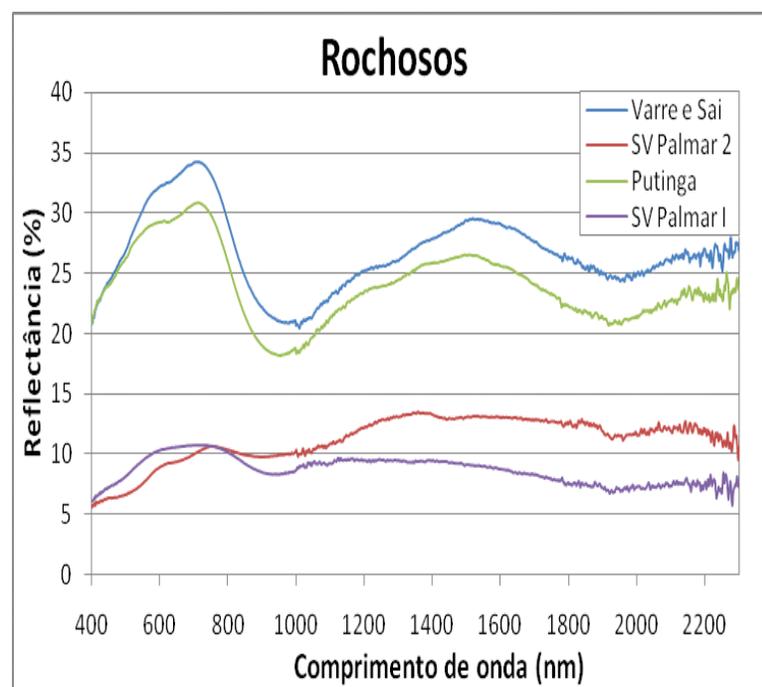


Figura 1. Curvas Espectrais dos condritos estudados neste artigo. As curvas superiores se referem aos tipos L e as inferiores aos tipos H.

#### 4. DISCUSSÃO

As curvas espectrais obtidas no Laboratório de Radiometria do INPE tem qualidade bem superior daquelas retiradas da bibliografia. A Figura 2 mostra um conjunto de curvas de vários tipos de meteoritos bastando observar na coluna direita as curvas dos condritos L6 e H. Cumpre assinalar que mesmo em menor escalas curvas citadas seguem as tendências das curvas obtidas no INPE.

Uma outra questão que se desprende da Figura 2 é sobre a origem parental dos meteoritos. As assinaturas da coluna 1 pertencem a tipos classificados como acondritos, fundamentalmente diferentes daqueles estudados neste trabalho. A correspondência destas assinaturas com aquelas dos corpos originais (Vesta e Marte) são bem aceitáveis segundo os autores citados na bibliografia. Os condritos estudados aqui e por outros autores, entretanto, não combinam com os asteroides tipo S, a base de silicatos máficos com fase metálica. Os parâmetros orbitais calculados para os condritos apontam para o centro do Cinturão de Asteróides onde predominam amplamente aqueles do Tipo S. As assinaturas não convergem como aquelas dos eucritos (basaltos) relacionadas ao Asteróide Vesta. As assinaturas da Figura 1 também não combinam com aquelas de corpos parentais Tipo S (EROS e Itokawa) embora a mineralogia seja muito correlacionável, à base de olivinas e orto-piroxenos. Deve ser notado que estes dois asteroides foram visitados pelas sondas Near-Shoemaker e Hayabusa. No caso da Near-Shoemaker seu espectroradiômetro tomou medidas de refletividade da luz solar desde sua inserção na órbita do asteróide (~200 quilômetros) até momentos antes de seu choque na superfície. A Hayabusa tomou amostras da superfície do Itokawa. Mesmo assim as assinaturas espectrais não combinaram com aquelas tomadas de condritos recolhidos na Terra. A similaridade mineralógica e a incompatibilidade das assinaturas vem se transformando em verdadeiro desafio para os especialistas que procuram explicar o paradoxo. O desafio se torna maior quando se percebe que as assinaturas de Vesta e dos eucritos (iguais aos basaltos de crosta inferior da Terra) combinam. Neste caso Taylor e McLennan (op.cit.) entendem que elas tem a mesma origem: a parte mais inferior das imensas e profundas crateras de Vesta.

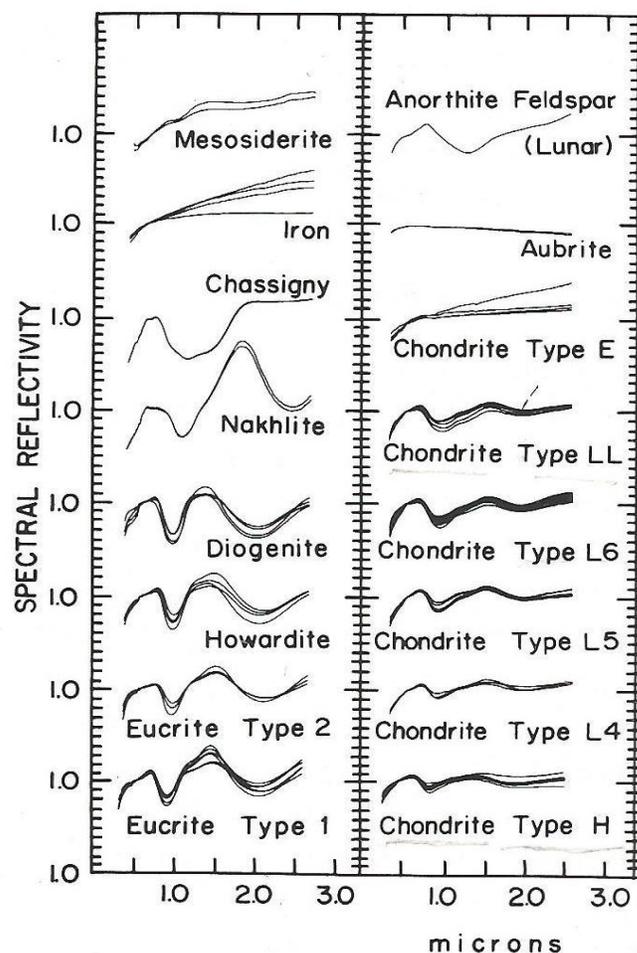


Figura 2. Reflectancia Normalizada de alguns Meteoritos segundo Gaffey e McCord [8]

A resposta para este paradoxo entre condritos e os asteroides Tipo S pode estar no comportamento das assinaturas espectrais obtidas por sondas e em laboratório. A Figura 3 mostra assinaturas da Lua tomadas na Terra e a obtida em laboratório por fatias de rocha basáltica trazida por uma missão Apollo e livre do regolito lunar. Fica nítido o contínuo da curva no caso dos solos e ficam marcantes os picos e as selas de absorção da rocha basáltica lunar.

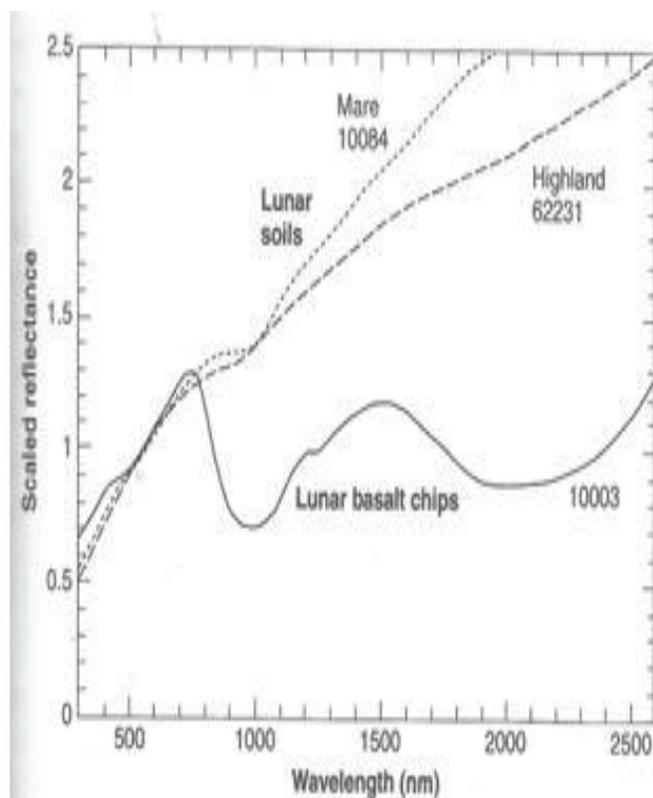


Figura 3. Curvas de amostras lunares das missões Apollo mostrando diferenças marcantes entre a rocha nua (basalto) e amostras cobertas por regolito (solo lunar). Fonte: Taylor e McLennan [9].

## 5. CONCLUSÃO

A conclusão imediata que se tira deste artigo é a possibilidade concreta de se exercer com afinco o procedimento descrito pois estão disponíveis tanto um bom laboratório quanto pesquisadores experientes na análise e no entendimento de curvas espectrais. O material disponível por outro lado é enorme já que foram estudados apenas 4 dos 71 meteoritos brasileiros encontrados até 2017.

Outros aspectos conclusivos dizem respeito às assinaturas tomadas no laboratório (INPE). Elas são muito claras e precisas, melhores do que aquelas encontradas na literatura analisada.

As curvas dos condritos estudados são muito semelhantes aquelas dos grupos L e H e assim podem servir de referência para uma classificação mais rápida e de menores custos quando comparadas com os procedimentos petrológicos e geoquímicos. Por último cabe aguardar novas medidas por sondas em asteróides Tipo S e daí fazer novas comparações com os condritos brasileiros de uma forma geral.

## 6. REFERÊNCIAS

- [1] Gomes, C.B; Keil, K. Brazilian Stone Meteorites. University of New Mexico Press. Albuquerque, NM. P. 123-126. 1980.
  - [2] Chapman, C.R.; McCord, T.B.; Johnson, T.V. Asteroid Spectral Reflectivities. *Astronomical Journal*, n.78, p.128-140, fevereiro. 1973
  - [3] Chapman, C.R. . The Nature of Asteroids. *Scientific American*, n.232, p.24-33. 1975
  - [4] Gaffey, M.J. Spectral Reflectance Properties of the Meteorite Classes. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 81, pp. 905-920. 1976
  - [5] Anderson, C.M. NEAR-Shoemaker Goes to Work. *The Planetary Report*, Vol. XX, N.3, pp.12-17. May-June. 2000.
  - [6] Harrison, T. Past and Present of Water in Mars. *Astronomy Magazine*, vol.45, issue 7, p.22-27. July.
  - [7] Zucolotto, M.E.; Fonseca, A.C.; Martini, P.; Monzon, J.M.P.; Varela, M.E.; Antonello, L.L. Zucolotto, M.E.; Fonseca, A.C.; Martini, P.; Monzon, J.M.P.; Varela, M.E.; Antonello, L.L. (2010). Santa Vitória do Palmar: um Sítio para Descoberta de Meteoritos. 45º Congresso Brasileiro de Geologia, Belém, PA, 26 de setembro/01 de outubro. Resumos.
  - [8] Gaffey, M.J; McCord, T.B. Asteroid Surface Materials: Mineralogical Characterization from Reflectance Spectra. *Space Science Review*. Vol.21, pp.555-628, 1978.
  - [9] Taylor, S.R.; McLennan, S.M. *Planetary Crusts: Their Composition, Origin and Evolution*. Chapter 1, p. 5-31. Cambridge University Press. New York. 2009.
- “Meteoritical Bulletin:  
<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?code=53633>”