



CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DE METEORITOS METÁLICOS

Palavras-Chave: METEORITOS METÁLICOS, LA-ICP-MS, METEORITICAL BULLETIN

Autores(as):

Caroline Corrêa Henriques, IG - UNICAMP

Prof. Dr. Álvaro Penteadó Crósta (orientador), IG - UNICAMP

Coautores(as):

Margareth Sugano Navarro, IG - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Os meteoritos metálicos, também chamados de sideritos, são importantes objetos de estudo para compreensão da formação do Sistema Solar e composição química do planeta Terra, pois representam a composição do núcleo terrestre. A composição química dos meteoritos e seu processo de formação são fundamentais para sua classificação.

O processo de formação dos meteoritos metálicos os segregam em magmáticos e não magmáticos, caracterizados por composições químicas específicas. Essas composições têm relação com o conteúdo de Ni com Ga, Ge e Ir, podendo incluir também Au, Pt, Pd, Ru, W, Os, Re, Mo e Rh (Grady *et al.*, 2013).

Os sideritos magmáticos têm gênese na cristalização fracionada de massas metálicas fundidas, demonstrando na composição química uma correlação positiva entre conteúdos de Au e Ni, e negativa entre Ni e Ir. Dessa forma, os grupos químicos que os representam são IC, IIAB, IIC, IID, IIF, IIG, IIIAB, IIIE, IIIF, IVA e IVB (Figura 1).

Os sideritos não magmáticos possuem uma formação diferente dos magmáticos pois são derivados de corpos metálicos cujo núcleo não sofreu cristalização fracionada e têm como característica o fato de não apresentarem correlação entre Ni e Au. Os grupos químicos a que eles pertencem são IIE e Complexo IAB. O Complexo IAB é a fusão dos grupos IAB e IIICD e possui um grupo principal MG, além de cinco subgrupos (s) denominados como sLL, sLM, sLH, sHH e sHL. Estes últimos são caracterizados pelo conteúdo baixo (L) ou alto (H) de ouro, seguido pelo conteúdo baixo (L), médio (M) ou alto (H) de níquel (Grady *et al.*, 2013).

Os meteoritos metálicos que não se encaixam em nenhum dos grupos químicos, sejam magmáticos ou não magmáticos, são classificados como *ungrouped*. Sua formação ainda é incerta, podendo possuir diversos tipos de gênese, sendo possivelmente originários de fragmentos de protoplanetas que passaram por cristalização fracionada (Goldstein *et al.*, 2009).

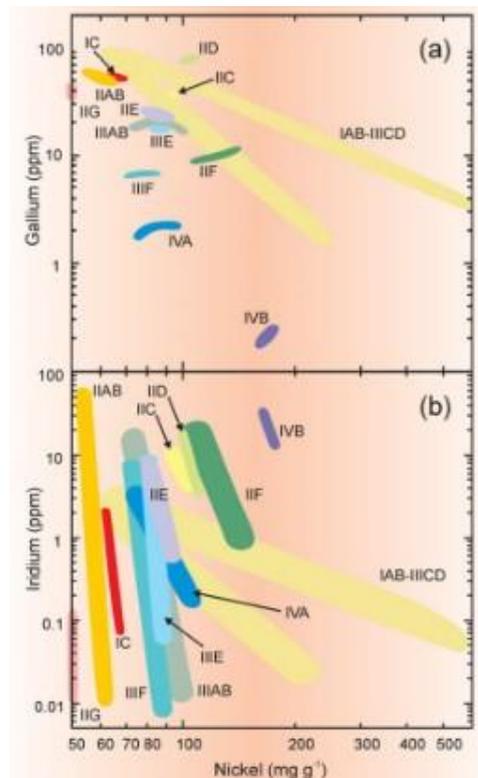


Figura 1 - Classificação composicional de meteoritos metálicos: (a) Gálio vs Níquel; (b) Irídio vs Níquel.

Fonte: GRADY, Monica; PRATESI, Giovanni; CECCHI, Vanni Moggi. *Atlas of Meteorites*, 2013.

Novos espécimes de sideritos são analisados, classificados e submetidos a oficialização no *Meteoritical Bulletin* (<https://www.lpi.usra.edu/meteor/>), que é a base de dados científicos com todos os meteoritos encontrados na Terra, mantido pela *Meteoritical Society*. Os espécimes disponibilizados para o presente estudo possuem nomes das localidades onde foram encontrados, seguindo a norma de nomenclatura adotada internacionalmente. São eles os meteoritos denominados Cristalina, Lagoa da Mangueira, Nova Crixás, Capitão Leônidas Marques, Niquelândia e Uiramutã.

METODOLOGIA:

As amostras que ainda não estavam polidas, dos meteoritos Nova Crixás e Cristalina, foram submetidas ao processo de polimento sequencial com pastas diamantadas (6 μm , 3 μm e 1 μm), visando obter superfícies homogêneas para melhor desempenho da técnica analítica LA-ICP-MS. Os resíduos gerados pelo polimento foram removidos com detergente e água destilada. As demais amostras já haviam sido recebidas de forma polida para a análise.

Com todas amostras devidamente polidas, elas foram submetidas à análise pela técnica LA-ICP-MS (espectrometria de massas com plasma indutivamente acoplado por



ablação a laser) no Laboratório de Geologia Isotópica (LAGIS) do IG-UNICAMP. O equipamento para a ablação a laser é da marca Photon-Machines Inc., modelo Excite 193, com sistema Ultra-Short Pulse Excimer. O espectrômetro de massa é fabricado pela Thermo Fisher Scientific, modelo ELEMENT2/ELEMENT XR.

Para as análises LA-ICP-MS foram feitos 10 tiros de laser em cada amostra. Antes da primeira amostra ser analisada, foram feitos três tiros de laser nas amostras de referência Nist 612 e no North Chile. Já nas demais foram feitos apenas dois tiros nas amostras de referência. Por fim, antes da análise da última amostra, foram novamente feitos três tiros nas amostras de referência (Navarro *et al.*, 2024). Essa abordagem permite uma comparação dos resultados obtidos para as amostras de referência em comparação com as amostras dos novos meteoritos, permitindo avaliar o desempenho do LA-ICP-MS ao longo de cada medição.

Com a etapa analítica concluída, os próximos passos incluíram o processamento dos dados pelo software Iolite 4, visando interpolar todos os valores medidos de North Chile e Nist 612. Assim, é criada uma equação matemática para ser aplicada aos valores dos meteoritos metálicos, garantindo que os valores de cada elemento sejam equivalentes entre si e proporcionando maior precisão e confiabilidade para os resultados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Os dados obtidos foram inseridos em diagramas composicionais (Figura 2) que relacionam o conteúdo dos elementos como Ni e Ga, Ge e Ir, a fim de alcançar a classificação geoquímica dos sideritos segundo a metodologia apresentada por Grady *et al.* (2013).

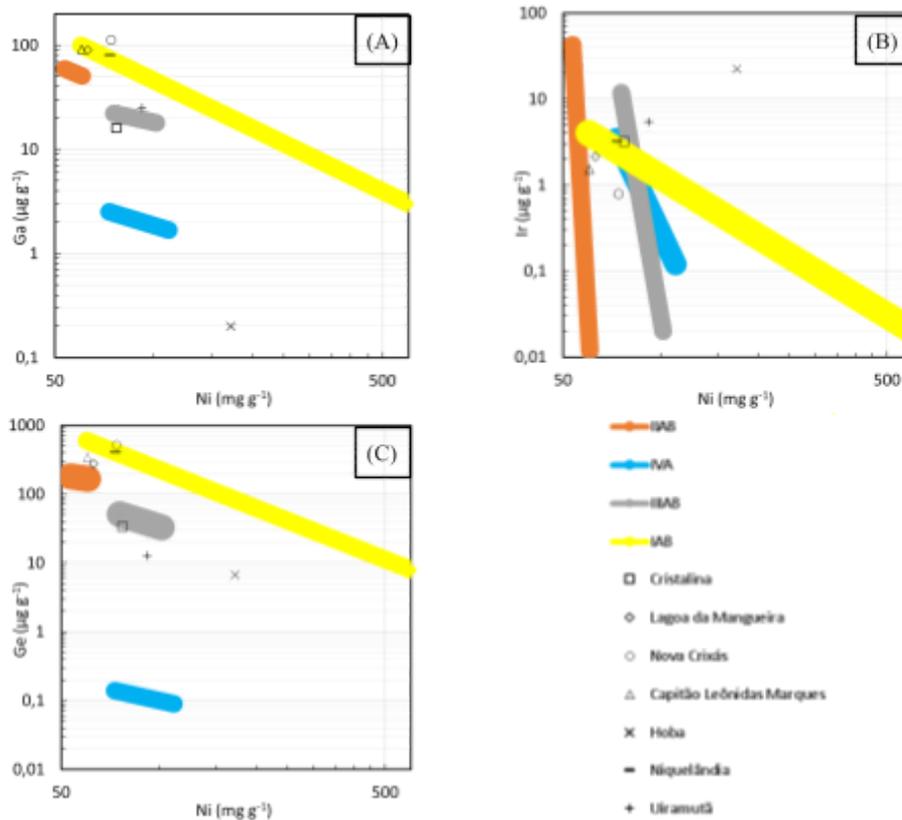


Figura 2 - Diagramas para classificação dos sideritos em grupos químicos: (A) Ga vs Ni; (B) Ir vs Ni; (C) Ge vs Ni.

Dessa forma, foi possível chegar à seguinte classificação para os novos meteoritos metálicos:

- Cristalina: Grupo IIIAB;
- Lagoa da Mangueira: Grupo IAB;
- Nova Crixás: Grupo IAB-MG;
- Capitão Leônidas Marques: Grupo IAB-Ungrouped;
- Niquelândia: Grupo IAB-MG;
- Uiramutã: Grupo IIE-Ungrouped;
- Hoba: Grupo IVB.

O meteorito Hoba foi usado para fins de referência, confirmando a classificação no Grupo IVB, conforme apresentado no *Meteoritical Bulletin* (<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=Hoba>). Assim, comprovou-se a precisão e confiabilidade da análise geoquímica realizada.

Os meteoritos metálicos já submetidos para oficialização no *Meteoritical Bulletin* são o Nova Crixás e o Capitão Leônidas Marques. No momento ambos se encontram em



processo de avaliação pela comissão de especialistas do *Nomenclature Committee* da *Meteoritical Society*. Já os meteoritos Niquelândia e Uiramutã estão com as submissões em fase final de preparação para serem submetidos ao *Meteoritical Bulletin*, seguindo posteriormente o mesmo fluxo dos dois já submetidos.

O meteorito Lagoa da Mangueira possui uma procedência duvidosa o que, junto com o fato de que esse meteorito apresenta características muito semelhantes ao Campo del Cielo, um meteorito caído na Argentina e já publicado no *Meteoritical Bulletin*, nos levou à decisão de não submeter os resultados e sua classificação. Por fim, o Cristalina foi recentemente oficializado no *Meteoritical Bulletin* (<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php?sea=Cristalina>), após ter sido analisado e proposto por outro grupo de pesquisa trabalhando de forma independente em relação ao nosso projeto.

CONCLUSÕES:

A caracterização geoquímica de meteoritos metálicos por meio da técnica LA-ICP-MS mostrou-se uma ferramenta analítica eficaz na determinação de elementos traços como Ni, Ga, Ge e Ir, fundamentais para a classificação dos sideritos segundo Grady *et al.* (2013).

Os resultados obtidos pelas análises de novos meteoritos permitiram inicialmente separá-los em magmáticos e não magmáticos, indicando também os grupos e subgrupos químicos característicos com base em suas assinaturas elementares. A sensibilidade dos instrumentos empregados na análise proporcionou a geração de dados de alta precisão e confiabilidade. A correta identificação do meteorito Hoba como grupo IVB, conforme consta do *Meteoritical Bulletin*, corrobora a consistência analítica do método, a metodologia aplicada e o processamento dos dados.

Por fim, a submissão dos novos meteoritos metálicos ao *Meteoritical Bulletin* consolida a relevância desse estudo para a ciência planetária, criando caminhos para o entendimento da formação e composição de núcleos metálicos em planetas, como na Terra.

BIBLIOGRAFIA:

GRADY, Monica; PRATESI, Giovanni; CECCHI, Vanni Moggi. **Atlas of Meteorites**. Cambridge University Press, 2013. Cap. 15. p. 322-329.

GOLDSTEIN, J. I.; SCOTT, E. R. D.; CHABOT, N. L. Iron meteorites: Crystallization, thermal history, parent bodies, and origin. **Geochemistry**. Volume 69, Issue 4, November 2009, Pages 293-325.

NAVARRO, M. S.; ENZWEILER, J.; CRÓSTA, Á. P.; MOUTINHO, A. L. R.; SILVA, G. G.; HERD, C. D. K; HILL, P. J. A. Elemental Characterization of Iron Meteorites Solely Based on LA-ICP-MS. **ACS Earth and Space Chemistry**, v. 8, n. 2, p. 281-294, 23/01/2024.