



CARACTERIZAÇÃO PETROGRÁFICA, MINERALÓGICA E GEOQUÍMICA DO DEPÓSITO DE MANGANÊS DE CONGONHAL-MG.

Palavras-Chave: Petrografia, DRX, FRX, Protominério de Mn, Congonhal.

Autores:

GABRIEL PELIZARI, IG – UNICAMP

Prof. Dr. WAGNER AMARAL (orientador), IG - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

O presente trabalho teve como objetivo, caracterizar petrográfica, mineralógica e geoquimicamente o depósito de manganês situado nos arredores do município de Congonhal (MG), assim como identificar o controle estrutural e a distribuição dos corpos mineralizados. Foram realizados trabalhos de campo com tomada de medidas estruturais, descrição petrográfica por microscopia ótica e Microscopia de Varredura Eletrônica (MEV), Difratometria de Raio-X e análises geoquímicas a partir de Espectrometria de Fluorescência de Raio-X (FRX). Os principais minerais de Mn presentes são a Espessartita, a Pirolusita e a Rodonita e demais óxidos e hidróxidos de manganês, contendo também inclusões de Co, Ni, Pt, Ag e Cd. Observa-se ainda uma clara relação positiva entre os teores de Mn e elementos como Ni, Co, V e Y. Neste sentido, observa-se um enriquecimento em metais como o Co na ordem de 15 a 27 vezes em relação ao teor médio na crosta, constituindo uma potencial ocorrência deste metal, associado aos minerais de manganês, sendo este potencial não explorado no momento. Os corpos mineralizados ocorrem sob a forma de lentes alongadas na direção N-S e achatadas preferencialmente na direção NW-SE similar a um padrão estrutural em caixa de ovos. A deformação e posteriormente os processos supergênicos, foram responsáveis pela concentração dos minerais de Mn e a remobilização de parte do minério que percolou nas rochas hospedeiras por meio de veios de quartzo nas estruturas rúpteis.

CONTEXTO REGIONAL:

A área de estudo corresponde à região de Congonhal (MG), na mesorregião do sul e sudoeste de Minas Gerais e na microrregião de Pouso Alegre. Encontra-se na porção Leste da Folha Ouro Fino (SF.23-Y-B-I), estando a cerca de 5 quilômetros da cidade de Congonhal. Em um contexto regional, a área de estudo está inserida na porção sul do embasamento do Orógeno Brasília, que registra episódios de fechamento do Oceano Goiás entre os crátons São Francisco (CSF) e Paranapanema (CPP) (Trouw *et al.*, 2013). A região de Congonhal posiciona-se entre os lobos das nappes Socorro-Guaxupé (NSG) e o sistema de nappes Andrelândia (SNA), sendo esta porção sudeste onde afloram rochas do embasamento do Orógeno Brasília denominada inicialmente de Faixa Alto Rio Grande (Ebert, 1956). Em menor escala, a cidade de Congonhal posiciona-se no contexto do Complexo Cachoeira de Minas e da Unidade São Vicente (CODEMIG, 2015).

O embasamento cristalino corresponde a ortognaisses migmatíticos arqueanos e paleoproterozoicos inicialmente designado apenas como embasamento rhyaciano e posteriormente

definido por Cioffi (2016) como Complexo Pouso Alegre, sendo composto por ortognaisses e migmatitos de idade rhiânica (2,15 a 2,08 Ga). O Complexo Cachoeira de Minas é formado por ortognaisses tonalíticos a granodioríticos intercalados a quartzitos micáceos e feldspáticos de textura granoblástica a granolepidoblástica, estando comumente alterados (CODEMIG, 2015). Esta porção corresponde ao embasamento cristalino na área de estudo sobre o qual está posicionada a Unidade São Vicente, unidade em que ocorre a cava da mina de Mn objeto desta pesquisa. A unidade São Vicente, por sua vez, é formada por quartzitos arcoseanos ou micáceos intercalados a xistos sericíticos e paragnaisses, havendo também a presença de gonditos de ocorrência local onde se encontram as zonas de mineralização do manganês na forma de óxidos e hidróxidos comumente alterados, formando saprolitos e solos de cor preta e argilosos. Este solo de cor preta é um grande marcador da presença de gonditos onde se encontram as mineralizações de manganês (CODEMIG, 2015). Esta unidade é interpretada por Westin et al. (2016) como uma bacia de intra arco, enquanto Kuster *et al.* (2020) e Marimon *et al.* (2021) a interpreta como uma sucessão de margem passiva Paleoproterozóica.

MÉTODOS:

Os métodos de pesquisa adotados neste trabalho consistiram na caracterização morfológica do depósito a partir de trabalho de campo, caracterização mineralógica por meio da microscopia ótica, Difractometria de Raio-X (DRX) e Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) bem como a caracterização geoquímica em Espectrometria de Fluorescência de Raio-X (FRX). Todas as etapas de preparação de amostras e análises mencionadas foram realizadas no Instituto de Geociências da Unicamp (IG/Unicamp), com exceção das análises geoquímicas, realizadas no laboratório comercial Geosol, sendo os elementos maiores determinados por Fusão por Tetraborato de Lítio e Carbonato de Lítio - XRF, enquanto a análise de elementos menores e traços foi realizada a partir da Fusão com Peróxido de Sódio - ICP OES.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Uma análise geral da disposição espacial dos corpos de Mn observados no depósito da região de Congonhal (MG) apresentam-se na forma de *boudins* (*corpos lenticulares na forma de charuto*) em duas direções preferenciais, alongados em N-S e achatados em NW-SE e o eixo dos *boudins* encontra-se variando entre estas duas direções. A análise estrutural preliminar sugere um importante controle por pelo menos duas direções de esforços. Este controle estrutural assemelha-se a um padrão caixa de ovos que deforma e remobiliza as camadas de minério e percola nas falhas e fraturas em um nível crustal mais elevado por veios quartzosos com fases mineralizadas em Mn. Observa-se a presença de quartzo-muscovita xisto da Unidade São Vicente. As mineralizações de Mn ocorrem de forma associada gnaisses com bandamentos marcados entre níveis mais silicosos e níveis ricos em Mn, de forma diferente da tendência regional onde as ocorrências de Mn são definidos como associados às unidades de quartzito (Angeli *et al.*, 2011).

A amostra PIC-03 corresponde a um gondito coletado em uma zona de charneira das diversas dobras que ocorrem no depósito. É composta majoritariamente por quartzo e granada espessartita, observando-se ainda uma matriz opaca (**Fig. 1A**). A amostra PIC-06 é semelhante à PIC-03, sendo composta principalmente por quartzo, granada espessartita e a goethita (cor ocre) e minerais opacos (**Fig. 1B**). A matriz opaca foi analisada através da MEV como corresponde a óxidos e hidróxidos de Mn. A amostra PIC-07 corresponde à amostra mais silicosa encontrada na região da mina. Sua composição mineral é de Rodonita (um piroxênio de Mn) e pode ser observado tanto em seções basais quanto em outras seções. A amostra é composta ainda de muscovita, granada espessartita e Rodocrosita, um carbonato de Mn (**Fig. 1C e D**).

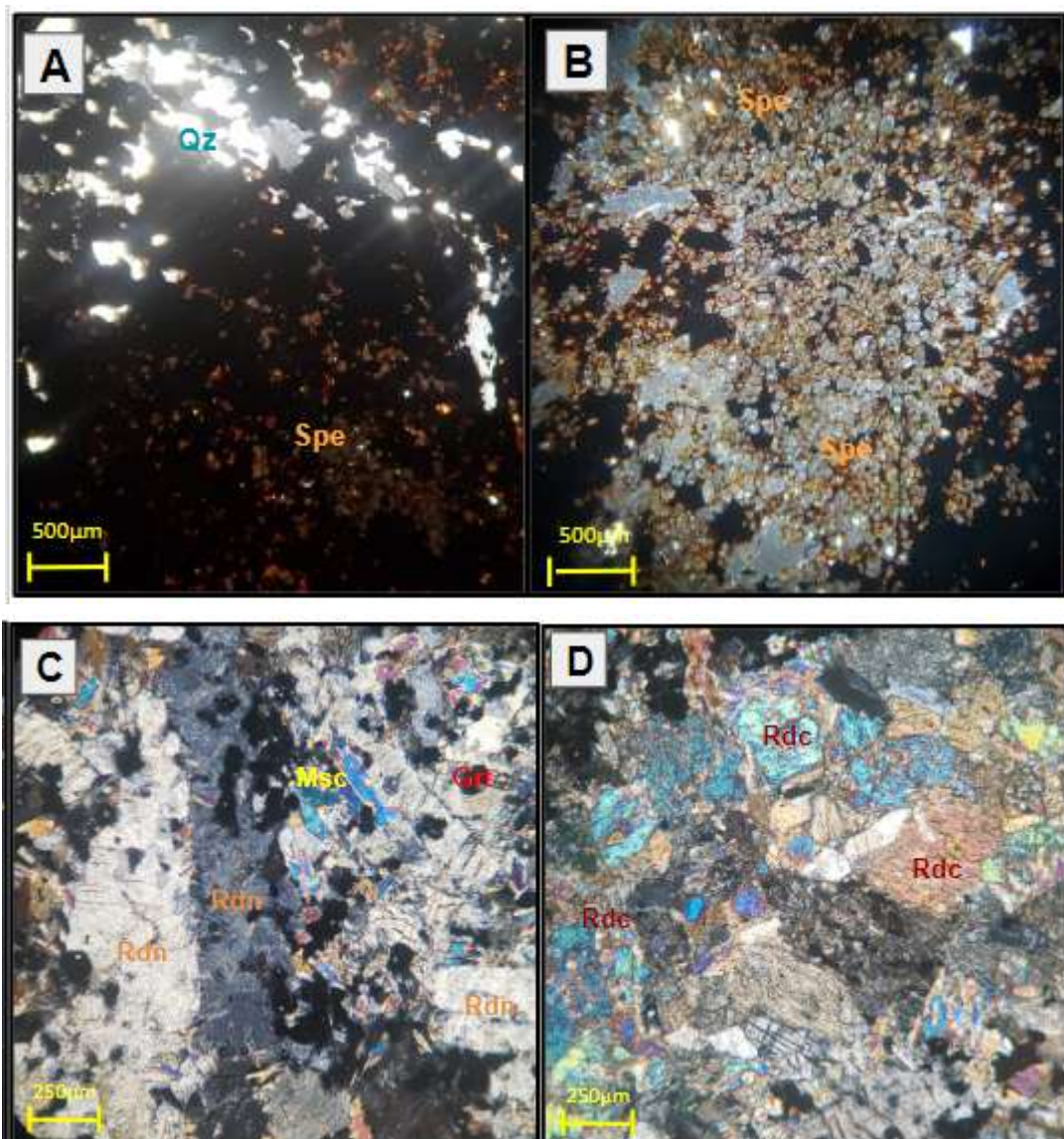


Figura 1. (A) PIC-03 contendo Quartzo (Qz) e aglomerados de Espessartita (Esp); (B) PIC-06 contendo Quartzo (Qz) e aglomerados de Espessartita (Esp); (C) PIC-07 contendo Rodonita (Rdn), Espessartita (Esp) e Muscovita (Msc) e; (D) PIC-07 contendo carbonato de Mn Rodocrosita (Rdc).

Em imagem de microscopia eletrônica da amostra PIC-06 (**Fig. 2A**) ainda é possível observar a presença de minerais de Mn como Hollandita ($Ba(Mn_{4+6}, Mn_{3+2})O_{16}$), alteração comum de minerais de Mn e macroscopicamente é indistinguível de vários outros óxidos de Mn, como criptomelano, manganita e coronadita; Lithioforita ($(Li, Al)MnO_2(OH)$), presumida uma vez que a análise por MEV não mede elementos como o Li; Hausmanita (Mn_3O_4), um mineral primário em veios hidrotermais, também podendo ocorrer no metamorfismo de rochas ricas em Mn; e a Kutnohorita ($CaMn_{2+}(CO_3)_2$), carbonato de cálcio semelhante à calcita rico em Mn. Ainda é possível observar inclusões de Ag e Cd, apresentando-se inseridas na Espessartita (**Fig. 2B**). Observa-se também a presença de inclusões de Ni, Co (**Fig. 3A**) e Pt (**Fig. 2B**). Minerais como Hausmanita, Bixbyita e Todorokita são minerais comumente gerados no metamorfismo de alto grau de rochas contendo Mn bem como em processos hidrotermais

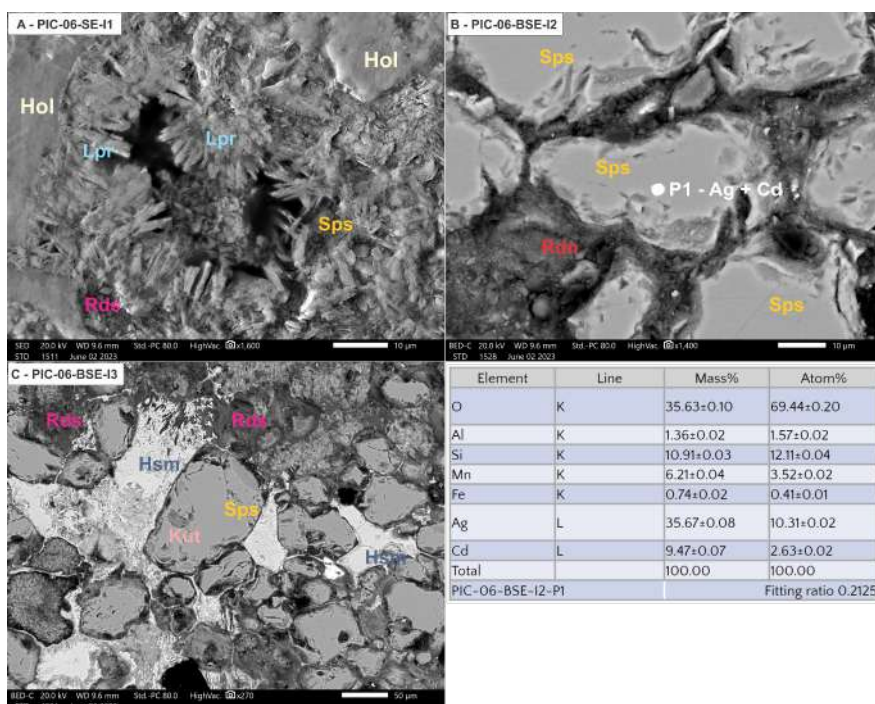


Fig. 2. (A) Amostra PIC-06 contendo Hollandita (Hol), Lithioforita (Lpr), Espessartita (Sps) e Rodocrosita (Rds); (B) Amostra PIC-06 contendo Espessartita (Sps), Rodonita (Rdn) e inclusão de Ag e Cd (P1); (C) Amostra PIC-06 contendo Espessartita (Sps), Rodocrosita (Rds), Hausmanita (Hsm) e Kutnohorita (Kut).

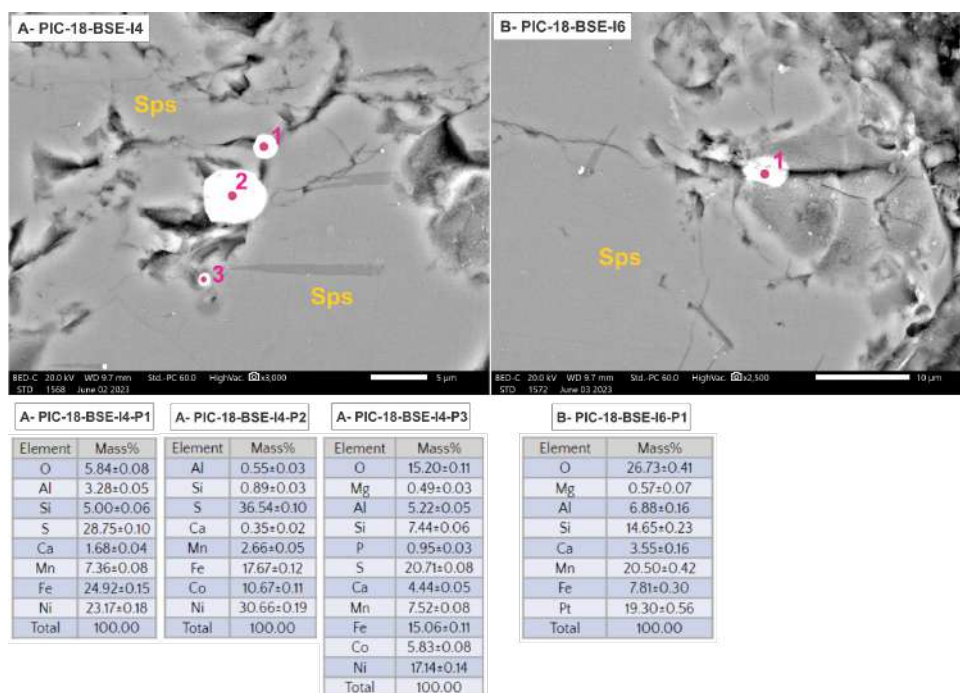


Fig. 3. (A) Amostra PIC-18 contendo Espessartita (Sps) e inclusões de Ni e Co; (B) Amostra PIC-18 contendo Espessartita (Sps) e inclusão de Pt.

Destaca-se a presença das inclusões metálicas de Ag, Cd, Pt, Ni e Co. As inclusões de Ni e Co na forma de sulfetos formam uma solução sólida cujo (membro final da solução sólida) *end-member* de Ni corresponde à Polydymita ($\text{Ni}_2\text{Ni}_3\text{S}_4$) e o *end-member* de Co corresponde à Linnaeita ($\text{Co}_2\text{Co}_3\text{S}_4$), sendo o intermediário de Ni-Co correspondente à Siegenita (CoNi_2S_4). Nesta solução sólida de Ni-Co são comuns impurezas como Fe e Mn. As inclusões minerais destacadas estão presentes na espessartita, apresentando uma relação direta com a presença desta granada de Mn. De modo geral, os minerais de Mn encontrados se assemelham aos observados na Mina do Córrego do Coxo na região de Itapira (SP), onde os principais minerais de minério são constituídos por

criptomelana, pirolusita, litioforita, espessartita e psilomelana, apresentando um teor médio de 23% de Mn (Angeli *et al.*, 2011).

As análises químicas revelaram que o teor médio de Mn para as amostras desse estudo da mina é de 22,8%. Dá-se destaque às concentrações de Co, Ni, V e Y, as quais encontram-se enriquecidas em relação à crosta (Barbalace, 2023) e apresentam relação positiva com os teores de Mn. O Co apresenta um teor que varia entre 301 a 546 ppm, com uma média de 403 ppm (aproximadamente 0,4-0,5% da massa total das amostras), estando em torno de 20 vezes mais enriquecido quando comparado ao teor na crosta de 20-30 ppm (Barbalace, 2023), o que indica uma potencial fonte explorável para esse metal. Obviamente mais estudos são necessários para se caracterizar uma fonte economicamente viável para extração do Co, mas as nossas observações revelam que o Co ocorre em distintos minerais e via de regra, incluso na granada. Como comparativo, tem-se depósitos já explorados como o da Jazida Fortaleza de Minas, a sudoeste da cidade de Fortaleza de Minas (MG), onde o Co é encontrado majoritariamente em veios hidrotermais com teor aproximado de 0,05% (Carvalho & Brenner, 2010).

CONCLUSÕES:

Os corpos de minério apresentam-se na forma de boudins alongados na direção N-S e achatados NW-SE. O teor médio de Mn nas amostras investigadas está em torno de 22,8%, contudo os teores médios da Mina são da ordem de 27-37 % de Mn. Os estudos geoquímicos mostraram correlações positivas de Mn com Ni, Co, V e Y. Os principais minerais de Mn descritos no depósito são Espessartita, Rodonita, Rodocrosita e Pirolusita, sendo possível observar ainda Hollandita, Hausmanita, Litioforita, Kutnohorita, Bicbyita, Todorokita como fases acessórias. Ocorrem no interior da granada Espessartita, importantes inclusões metálicas de Ag, Cd, Pt, Ni e Co.. Destaca-se também o enriquecimento em Co, Ni e V observado nas amostras analisadas. O maior destaque é para a concentração de cobalto. Esta associação sugere uma relação entre depósitos de Mn e depósitos de metais como o Co, Ni e V. O Co apresenta teores de interesse econômico comparável a outras ocorrências em Minas Gerais.

BIBLIOGRAFIA

- ANGELI, N.; KHAN, H.; ITO, G.M.; CARVALHO, S.G. de; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; PENHA, U.C. 2011. **Geologia e Caracterização Tecnológica do Minério de Manganês da Mina Córrego do Cocho, Itapira (SP)**. Revista do Instituto de Geociências – USP. Geol. USP, Sér. cient., São Paulo, v. 11, n. 3, p. 107-130, dezembro 2011.
- BARBALACE, K. **Periodic Table of Elements - Cobalt - Co**. EnvironmentalChemistry.com. 1995 - 2023. Acesso em: 22/06/2023. Disponível em: <<https://EnvironmentalChemistry.com/yogi/periodic/Co.html>>
- CARVALHO, S.G.; BRENNER, T.L. 2010. **Depósito de Ni-Cu-Co-Au-EGP de Fortaleza de Minas, Minas Gerais**. In: Brito R.S.C. de, Silva M.G., Kuyumjian R.M. (eds.). Modelos de Depósitos de Cobre do Brasil e sua Resposta ao Intemperismo. Brasília, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, p. 97-125.
- CIOFFI, C. R. 2016. **Processos de acreção e retrabalhamento continental no embasamento do Orógeno Brasília Meridional**. Tese (Doutorado em Petrologia Ignea e Metamórfica) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. doi:10.11606/T.44.2016.tde-27092016-144427.
- COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO DE MINAS GERAIS (CODEMIG). 2015. **Mapa Geológico Folha Ouro Fino/Andradas**. 1/100.000. Governo do Estado de Minas Gerais.
- EBERT, H.; 1956. **A tectônica do sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes**. In: Relatório Anual do Diretor, ano 1955, DGM, Rio de Janeiro : p. 97-107 e p. 136-137.
- KUSTER, K.; RIBEIRO, A.; TROUW, R.A.J.; DUSSIN, I.; MARIMON, R.S. 2020. **The Neoproterozoic Andreândia group: Evolution from an intraplate continental margin to an early collisional basin south of the São Francisco craton, Brazil**. J. S. Am. Earth Sci. 102, 102666.
- MARIMON, R.S.; TROUW, R.A.J.; DANTAS, E.L.; RIBEIRO, A.; SANTOS, P.; KUSTER, K.; VINAGRE, R. 2021. **Provenance of passive-margin and syn-collisional units: Implications for the geodynamic evolution of the Southern Brasília Orogen, West Gondwana**. Sedimentary Geology. 413, 105823
- TROUW, R.A.J.; PETERNEL, R.; RIBEIRO, A.; HEILBRON, M.; VINAGRE, R.; DUFFLES, P.; TROUW, C.C.; FONTAINHA, M.; KUSSAMA, H.H.. 2013. **A new interpretation for the interference zone between the southern Brasília belt and the central Ribeira belt, SE Brazil**. Journal of South American Earth Sciences, Volume 48, 2013, Pages 43-57, ISSN 0895-9811.