

CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE OCORRÊNCIAS DE ROCHAS MANGANESÍFERAS DO CINTURÃO MINEIRO, MINAS GERAIS

MINERALOGICAL CHARACTERIZATION OF MANGANESE-BEARING ROCK OCCURRENCES FROM THE MINEIRO BELT, MINAS GERAIS

Mariana Barcellos da Silva

Aluna de Graduação do curso de Geologia 5º período, UFRJ
Período PIBIC projeto CNPq: setembro de 2023 a agosto de 2024
mbarcellos64@gmail.com

Matheus Lamas Machado

Orientador, geólogo, M.Sc.
mattlamachado@gmail.com

Ciro Alexandre Ávila

Orientador, geólogo, D.Sc.
avila@mn.ufrj.br

Reiner Neumann

Orientador, geólogo, D.Sc.
rneumann@cetem.gov.br

RESUMO

A presente pesquisa tem por finalidade a caracterização mineralógica de rochas manganésíferas (gonditos), visando identificar possíveis ocorrências de elementos críticos como Mn, Li, Ni e Cu, os quais fazem parte da composição dos minerais estratégicos. Os gonditos estão aflorantes entre áreas de Ibituruna e Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, e pertencem a sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes do Cinturão Mineiro. Existem poucos trabalhos que se referem a caracterização mineralógica dessas rochas, com o devido foco nos elementos estratégicos. Desse modo, o estudo dessas amostras foi baseado na caracterização por meio dos seguintes métodos: espectroscopia por fluorescência de raios-X (FRX), análise quantitativa por difração de raios - X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura com análise por espectroscopia por energia dispersiva (MEV-EDS). O minério de manganês observado é descrito, principalmente, pela concentração de spessartita (45-60%), seguido de litioforita, criptomelana e pirolusita, minerais secundários comuns do minério e que variam entre 5-16%. As principais fases minerais acessórias são os sulfetos, esfalerita, pirrotita, calcopirita e pentlandita, encontrados em sua maioria no formato de inclusões nas granadas, como grãos arredondados ou subarredondados e também em veios, como é o caso da ilmenita e hollandita. Com isso, espera-se que esse trabalho contribua para o estudo de futuras jazidas de Mn e até mesmo a revitalização das já exauridas mediante a importância econômica do minério de Mn, com recuperação dos elementos estratégicos associados.

Palavras-chave: gonditos; cinturão mineiro; DRX, minério de Mn.

ABSTRACT

The present research aims to characterize the mineralogy of manganese-bearing rocks (gondites) to identify possible occurrences of critical elements such as Mn, Li, Ni, and Cu, which are part of the composition of strategic minerals. The gondites are exposed between the areas of Ibituruna and Conselheiro Lafaiete, in southeastern Minas Gerais, and belong to the Rio das Mortes metavolcanosedimentary sequence of the Mineiro Belt. There are few studies that refer to the mineralogical characterization of these rocks, with a due focus on strategic elements. Thus, the study of these samples was based on characterization through the following methods: X-ray

fluorescence spectroscopy (XRF), quantitative analysis by X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy with energy dispersive spectroscopy (SEM-EDS). The manganese ore observed is described mainly by the concentration of spessartine (45-60%), followed by lithiophorite, cryptomelane, and pyrolusite, which are common secondary minerals of the ore and vary between 5-16%. The main accessory mineral phases are sulfides such as sphalerite, pyrrhotite, chalcopyrite, and pentlandite, mostly found as inclusions in garnets, as rounded or sub-rounded grains, and also in veins, such as ilmenite and hollandite. Thus, it is expected that this work will contribute to the study of future Mn deposits and even the revitalization of already depleted ones, given the economic importance of Mn ore recovery of the associated strategic elements

Keywords: gondite; mineiro belt; XRD; manganese ore.

1. INTRODUÇÃO

O minério de manganês é um elemento essencial na produção de ferro-ligas e no crescente desenvolvimento da siderurgia, mas também em baterias, alta tecnologia e até em alimentos. De acordo com o IMnI *International Manganese Institute* (2021), a indústria global de manganês recuperou seu crescimento em 2021, apesar dos impactos sofridos no ano anterior pela redução do consumo de energia. A crescente demanda por elementos críticos tem provocado um aumento no interesse geológico nas rochas ricas em manganês, devido a associação aos elementos supracitados.

O Cinturão Mineiro é reconhecido pela produção de Mn do Morro da Mina (Conselheiro Lafaiete, estado de Minas Gerais) (CABRAL et al., 2019), que está relacionado as ocorrências manganíferas a sudoeste do cinturão, de Conselheiro Lafaiete até Ibituruna. Estas rochas fazem parte da sequência metavulcanossedimentar Rio das Mortes e são intrudidas por diques do metagranitoide Ritópolis (2121 ± 7 Ma) e por corpos pegmatíticos (2129 ± 33 Ma) (CIDADE, et al., 2020). A região apresenta poucos estudos de cunho exploratório e escassez de informação com viés econômico através da caracterização destas ocorrências.

2. OBJETIVO

O objetivo do trabalho é apresentar dados preliminares referentes a caracterização mineralógica por meio da quantificação por DRX (difração de raios-X) e análise petrográfica por MEV-EDS (microscopia eletrônica de varredura com análise por espectroscopia dispersiva) sobre o minério Mn de duas minas (EMFX e Monte Azul).

3. METODOLOGIA

A coleta de amostras de mão foi realizada em afloramentos de frente de lavra nas minas EMFX (Penedo) e Monte Azul. Em laboratório, as amostras 2, 3, 5 e 6 seguiram duas preparações 1) para análise química por FRX e ICP-MS (exceto a 3), e análise por DRX; alíquotas foram reduzidas no moinho planetário a seco e moagem a úmido em moinho McCrone, alíquotas de 3g para DRX e 5g para análise química foram separadas em quarteador rotativo de bancada. Dados de DRX foram adquiridos em um difratômetro Bruker D8 Advance Eco com tubo selado de Cu, medições entre 4 e $105^\circ 2\theta$ em passos de $0,01^\circ$. A quantificação mineral baseada no método de Rietveld foi realizada utilizando o software *Diffraction Topas 5*. 2) Seções polidas para análise por MEV-EDS: fragmentos das amostras foram serradas e embutidas em resina epoxi, e recobertas com carbono, e analisadas em um microscópio eletrônico de varredura ZEISS Sigma 300 VP acoplado a EDS Bruker Esprit, operado com abertura de $30 \mu\text{m}$, 15kV , e distância de trabalho de 8 mm .

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 1 apresenta a composição química das amostras 2,5 e 6, calculadas analisadas por FRX e ICP-MS, as quais são essencialmente constituídas por MnO, SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃. Pode-se observar que as amostras 6 e 2 apresentam uma similaridade entre os elevados teores de MnO e SiO₂: esta com (40,6% e 19,1%) e aquela com (37,4% e 19,7%). Já a amostra 5 se destaca pelo alto teor de sílica (SiO₂) com 34,88%, quase o dobro das demais, o Fe₂O₃ com 15,67% e o MnO com 26,86%.

Tabela1: Análise química dos principais elementos constituintes das amostras.

	FRX (%)				Icp-ms (PPM)		
	2	5	6		2	5	6
Al ₂ O ₃	10,92	12,00	15,50	Li	nd	99	138
CaO	1,57	2,77	1,57	Ti	476	4273	5134
Fe ₂ O ₃	10,86	15,67	12,98	Co	63	160	282
K ₂ O	5,20	Nd	Nd	Ni	2092	641	310
MgO	0,26	0,22	0,36	Cu	80	726	524
MnO	40,40	26,86	37,24	Ba	9	118	260
P ₂ O ₅	0,19	0,25	0,14				
SiO ₂	19,01	34,88	19,60				
ZnO	0,18	0,12	0,09				

Na análise por FRX apenas a amostra 2 apontou para a presença de K₂O, com 5,2%. As amostras apresentaram teor médio de P₂O₅ e máximo de 0,25%.

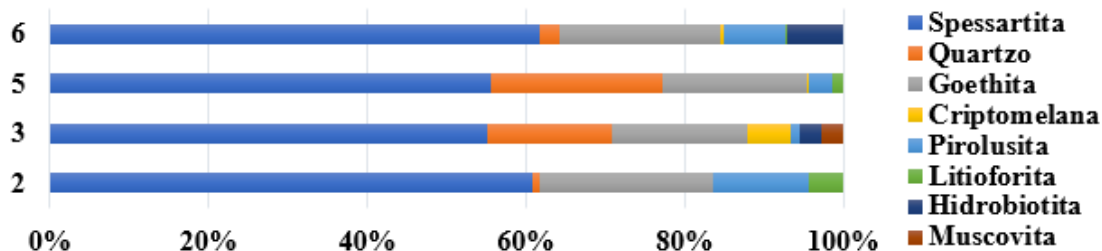


Figura 1: análise modal das fases minerais representativas adquiridas por DRX/ método Rietveld.

A spessartita, granada de Mn, é o carreador de manganês majoritário presente nas 4 amostras, variando entre 45-60%, em massa. Em contrapartida, a lioforita tem entre 2-5% nas amostras 3 e 5, criptomelana com 5% na amostra 3 e pirolusita oscilando entre 3-12% nas 4 amostras. A análise de DRX indica que o Li estaria presente na composição da lioforita nas amostras 2 e 5. Contudo, a análise por ICP-MS para Li apresenta valores para as amostras 5 e 6, mas não o detecta na amostra 2. As amostras 2 e 3 possuem criptomelana, carreador dos altos teores de K₂O apontados pelos dados da análise química. Pode-se perceber uma semelhança nos minerais apresentados das amostras 6 e 2, com teores muito próximos de spessartita e goethita, até mesmo na baixa concentração de quartzo. Apesar da pouca concentração desse mineral, as amostras possuem bastante Si pois, além do quartzo, a granada também é o principal mineral constituído por Si. Já nas amostras 3 e 5 o teor de quartzo nas duas é bastante similar, seguido por valores menores de lioforita, criptomelana e pirolusita. Apesar das amostras 6 e 2 apresentarem similaridade, elas não são provenientes da mesma mina, a amostra 2 da Mina monte azul e a 6 da Mina EMFX.

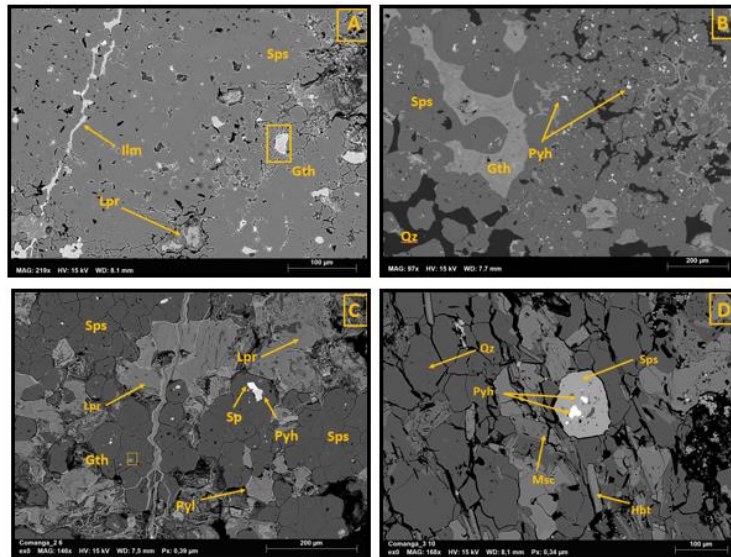


Figura 2: Imagens geradas através do MEV das amostras 6,5,2 e 3. **Legenda:** Sps-(spessartita); Gth– (goethita); Lpr – (litioforita); Ilm – (ilmenita); Qz – (quartzo), Pyh – (pirrotita); Pyl – (pirolusita); Msc – (muscovita) Hbt – (hidrobiotita).

Spessartita, goethita, quartzo e litioforita são as fases predominantes na matriz da 5, figura 2B. Nas amostras 5 e 2, pode-se identificar um padrão de inclusões nas granadas de Mn subarredondadas, (Figuras 2B e 2C). Na Figura 2B, tem-se o exemplo da pirrotita como inclusão na spessartita. Normalmente, as inclusões são euédricas ou subédricas e em sua maioria sulfetos, como esfalerita e calcopirita e pentlandita, aonde contendo os elementos Ni e Cu. Além disso, tem-se a presença de ilmenita e hollandita, em veios, como é observado na figura 2A.

A respeito da textura do minério, ela é bandada com níveis bastante ricos em minério de manganês, intercalados com faixas de quartzo maciças (cinza escuro) e goethita (cinza claro) na amostra 5, e principalmente litioforita na amostra 2. Na figura C, a litioforita se apresenta em tons de cinza claro, comumente com aspecto não homogêneo, associados a goethita, spessartita e pirolusita. Tanto a litioforita quanto a goethita são considerados minerais de alteração das granadas de Mn, esta variando entre 4-12% em massa de Mn e aquela entre 35-55%. Já a goethita é um mineral secundário comum, sendo um importante carreador de manganês, uma vez que a goethita faz parte da composição de vários minérios de Fe e Mn. O Ni e Cu são elementos carreados pelos sulfetos em ocorrências muito restritas, geralmente no formato de inclusões presentes na spessartita e o Li na litioforita. Neste caso, o Li não pode ser detectado pelas imagens de EDS, contudo, quando combinados com os resultados de DRX, pode-se inferir sobre a litioforita.

5. CONCLUSÕES

As análises dos dados preliminares indicam que os elementos de interesse (Mn,Ni, Cu e Li) são encontrados distribuídos majoritariamente na spessartita, no caso do Mn entre (55-65%) em massa e secundariamente, na pirolusita e litioforita com (35-55%). Os demais elementos são carreados pelos sulfetos: esfalerita, calcopirita, pirrotita e pentlandita, em baixos teores na massa total do minério, e ilmenita e hollandita comumente observadas em veios, associadas à spessartita. Embora o Li não apareça nas análises de EDS e possua correlação por ICP-MS na amostra 2, por meio dos dados de DRX é possível estimá-lo na litioforita.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus orientadores Reiner Neumann, Ciro Ávila e Matheus Machado pela oportunidade e paciência, mas também por todo o conhecimento transmitido. Ao CETEM e à equipe do laboratório SCT por todo suporte durante a elaboração da pesquisa. Agradeço também ao CNPq e ao projeto CNPq “CoManga – Caracterização de minérios e ocorrências de manganês no Cinturão Mineiro (MG) com foco em minerais estratégicos: Co, Li, Ni e Cu” pela bolsa de iniciação científica e incentivo financeiro para a pesquisa.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CABRAL, A.R. et al. (2019). Alabandite (MnS) in Metamorphosed Manganiferous rocks at Morro da Mina, Brazil: palaeoenvironmental significance. *Eur J Mineral* 31:973-982.

CIDADE, T.P. et al. (2020). Minerais pesados de saprólitos de pegmatitos intrusivos no ortognaisse Resende Costa: caracterização e correlação com a Província Pegmatítica de São João del Rei, Minas Gerais, Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 20(3), 3-22.

INTERNATIONAL MANGANESE INSTITUTE (IMnI). IMnI Annual Review 2021. Paris, França. 2021. 46p.