

## MODO DE OCORRÊNCIA DO MANGANÊS NO MINÉRIO DE FERRO E INFLUÊNCIA DA IMPUREZA NO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DO PELLET FEED FINE – MINA DA VALE- QUADRILÁTERO FERRÍFERO- MG-BRASIL\*

*Stael Lustosa Maciel<sup>1</sup>*

### Resumo

As impurezas associadas ao minério de ferro em determinadas porções das minas são elevadas, principalmente os teores de manganês. Assim, vislumbrando o entendimento do comportamento dos minerais portadores de manganês no processo de tratamento via separação magnética, foram coletadas amostras diárias que alimentam o concentrador magnético e que representam o mix das minas do Complexo minerador, nas etapas de alimentação, concentrado e rejeito, por um período de oito meses. Nessas amostras, foram determinadas as granulometrias, análises químicas por faixas e mineralogias. Em uma segunda etapa de trabalho, foram coletadas duas amostras da mina 1 e duas amostras da mina 2, representativas dos materiais impuros, para identificação das fases minerais majoritárias através de difratometria de raios X, pesquisa microestrutural e microanálise química dos portadores de manganês através de análises em MEV-EDS. Os resultados mostraram que o manganês possui duas formas de ocorrência: uma como mineral liberado e a outra como minerais componentes de partículas mistas. Nesta última forma de ocorrência, pode-se obter maior concentração do teor de manganês no produto da separação magnética e/ou perda do elemento ferro para o rejeito, pois as partículas mistas (hematita + manganês) não são atraídas pelo campo magnético.

**Palavras-chave:** Manganês; Partícula mista; Caracterização mineralógica; Separação Magnética.

### MANGANESE OCCURRENCE IMPURITIES OF IRON ORE AND INFLUENCE IN THE PELLET FEED – VALE MINE – IRON QUADRANGLE, MINAS GERAIS- BRAZIL

### Abstract

In some parts of those mines the percentage of impurities associated with iron ore are high, specially the content of manganese. Therefore with a glimpse on the understanding of the minerals behavior with a manganese content daily samples were collected throughout eight months to feed the magnetic concentrator and to represent a mix of the ore originated in the stages of supply, concentrate and tailing of miner Complex. The granulometry, chemical analysis by bands and mineralogy were determined. The next step was to collect two representative samples of impure materials in both 1 and 2 mines, in order to identify the major mineral phases through X-Ray diffraction, microstructural research and chemical microanalysis of the carriers of manganese through SEM-EDS analysis. Results show that manganese occurs in two different ways – one as a free mineral, and other as a mineral that compounds mixed particles. In the second possibility one can obtain a greater concentration of manganese on the product of the magnetic separation and/or loss of the iron element during the tailing, once the mixed particles (hematite + manganese) are not attracted by the magnetic field.

**Keywords:** Manganese; Mixed particles; Mineralogical characterization; Magnetic separation.

<sup>1</sup> Engenheira Geóloga/UFOP, Dra., Geóloga, Planejamento de lavra/Curto Prazo, Vale.

## 1 INTRODUÇÃO

Itabiritos, dolomitos ferruginosos e filitos hematíticos compõem um conjunto de formações ferríferas metamórficas do Grupo Itabira na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, uma das principais regiões produtoras de minério de ferro do mundo. Nesses minérios, o óxido de Mn é considerado como componente acessório do itabirito comum, (Rosière e Chemale Junior, 2000).

O tratamento do minério utilizado na mina estudada é o processamento por separação magnética. O processo de tratamento se baseia na susceptibilidade magnética apresentada pelos minerais, isto é, no comportamento que as partículas minerais apresentam quando submetidas a um campo magnético, (Sampaio e Luz, 2004). Com base nessa propriedade, os materiais ou minerais são classificados em duas categorias: aqueles que são atraídos pelo campo magnético e os que são repelidos por ele. Peres (2007) esclarece que, sob a ação de um campo magnético, os materiais paramagnéticos tendem a se alinhar, com as linhas de força sendo atraídos para os pontos de maior intensidade deste campo. A eficiência dos processos de tratamento de minério algumas vezes pode ficar comprometida, devido à trama dos cristais na rocha, tais como as partículas mistas. A ocorrência da partícula mista pode significar um comportamento distinto, desta partícula frente a uma operação de separação. Por outro lado, dependendo do posicionamento da partícula mista na concentração (saída no concentrado ou rejeito) pode-se obter maior recuperação ou teor mais elevado no concentrado e/ou rejeito (Silva, 1973).

Segundo Rocha (2012), as diferenças de forma e textura dos minerais são um dos maiores responsáveis por um comportamento distinto dos minérios em processos de beneficiamento e aglomeração.

Neste trabalho, foram estudadas amostras coletadas diariamente na usina de tratamento do Complexo minerador, por um período de oito meses, com o objetivo de avaliar o comportamento dos minerais de manganês na usina de tratamento por concentração magnética nas etapas de alimentação (A) e no rejeito (R). A característica interessante que o mineral manganês da alimentação é bem menor do que a no rejeito, Figura 01.

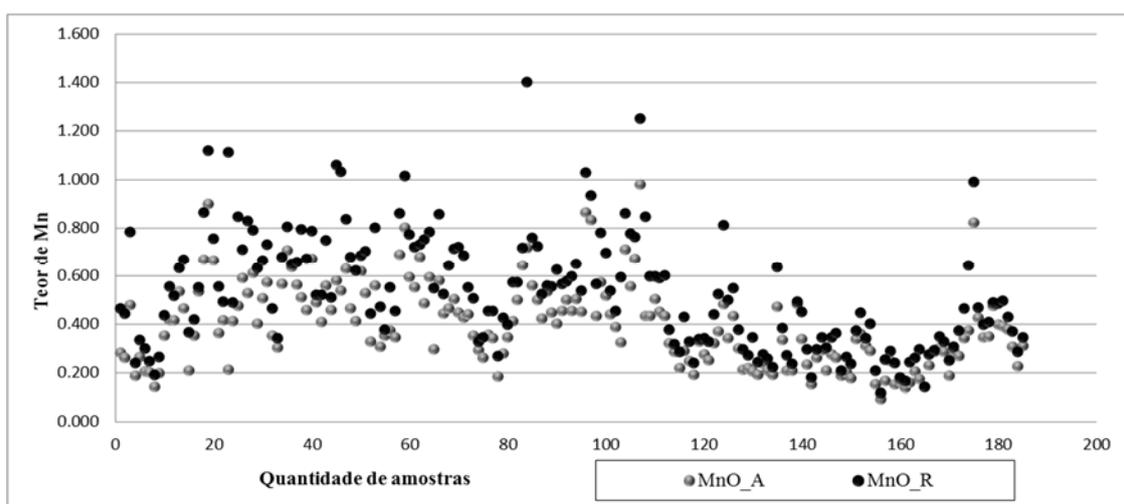


Figura 01: Teor de óxido de manganês nas amostras de alimentação (A) e rejeito (R).

Assim, este trabalho se propôs a caracterizar os minérios explorados nas minas (1) e (2), com ênfase na composição mineralógica, com destaque para os minerais de manganês.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção das amostras diárias, foram realizadas coletas de incrementos horários dos processos de produção nos estágios de alimentação, concentrado e rejeito. Posteriormente, estas amostras foram enviadas ao laboratório da empresa PCM, em Mariana, onde foram realizadas análises granulométrica e mineralógica.

O ROM, *Run of Mine*, composto por material hematítico com teor médio de 60% de ferro e itabirito com teor médio de 50% de ferro, é a forma bruta do minério. Após o beneficiamento nas usinas, os produtos são classificados como granulados (lump) e finos (sinter feed e pellet feed). O pellet feed fine (PFF) é um material fino com granulometria menor que 0,150 mm, com excelente liberação e tem alta concentração de ferro, ou seja, baixo teor de ganga (Quaresma, 2001).

Para as amostras estudadas, a distribuição granulométrica foi obtida por peneiramento a úmido usando a série ASTM de peneiras com aberturas de 50 a 0,045mm, no laboratório da Vale. Foram determinados os teores de Mn, Fe, CaO, MgO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub> e P. Na identificação das principais fases minerais, as amostras foram pulverizadas abaixo de 0,045mm e analisadas no difratômetro de raios-X da PANalytical (modelo Empyrean) usando tubo de Co. Os difratogramas foram obtidos no intervalo de 5-80° (2θ) com step size de 0,013°. As fases cristalinas foram identificadas e interpretadas pelo software High Score Plus.

Na pesquisa por microscopia eletrônica de varredura/microanálise química (MEV-EDS), as análises foram realizadas no microscópio eletrônico de varredura da marca ZEISS, modelo EVO-MA15, acoplado com detector EDS BRUKER, modelo XFlash 6110 e controlado pelo software QUANTAX, Esprit 1.9. Os dois últimos ensaios foram realizados no Centro Tecnológico de Ferrosos – CTF situado no condomínio Miguelão, de propriedade da Vale.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os resultados das análises químicas na fração PFF nas amostras de ROM, portadoras de materiais impuros, os teores de ferro são maiores que 55% (Tabela I). Os níveis de impurezas são também elevados para todas as amostras. A amostra da mina 2a se destaca por conter teores elevados para óxido de alumínio, manganês e perda ao fogo, simultaneamente.

Na figura 02 é possível observar a classificação mineralógica através de percentuais em peso da classe das impurezas presentes nas amostras das minas 1 e 2. Para a mina 2, os minerais de manganês (MM) ocorrem com percentuais elevados, seguidos pela goethita botrioidal (GB). Para as amostras da mina 1, ocorrem percentuais elevados para a goethita botrioidal (GB), filossilicatos (FL) e goethita terrosa (GT), nesta ordem. É interessante observar que, nas amostras onde o percentual dos minerais manganês é elevado, o da goethita (botrioidal e terrosa) é baixo e vice-versa. Na amostra da mina 2b, a proporção de manganês está acima de 18% e é a impureza mais abundante. O mineral de manganês microcristalino ocorre envolvendo hematita fina. Cabe ressaltar que a diferenciação da gama dos diversos tipos de minerais manganésíferos por vezes é difícil, ao microscópio ótico de luz refletida, pois a granulação é muito fina. Os contatos entre os grãos manganésíferos são irregulares, sendo que os mesmos geralmente assumem a forma dos outros grãos que os circundam. É comum ocorrerem como massa terrosa nos interstícios ou poros de outros minerais. Há ocorrência de partículas mistas de hematita martítica com quartzo.

Tabela 1: Análise química média (% em massa) das amostras de granulometria <0,150mm e > 0,045mm

Minas	Fe	SiO <sub>2</sub>	P	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Mn	PF
Mina 2a	55.87	8.88	0.12	2.29	2.65	3.45
Mina 2b	64.23	1.79	0.08	1.36	1.44	2.10
Mina 1a	62.60	5.70	0.06	2.15	0.13	1.75
Mina 1b	57.53	14.17	0.09	1.10	0.27	2.37

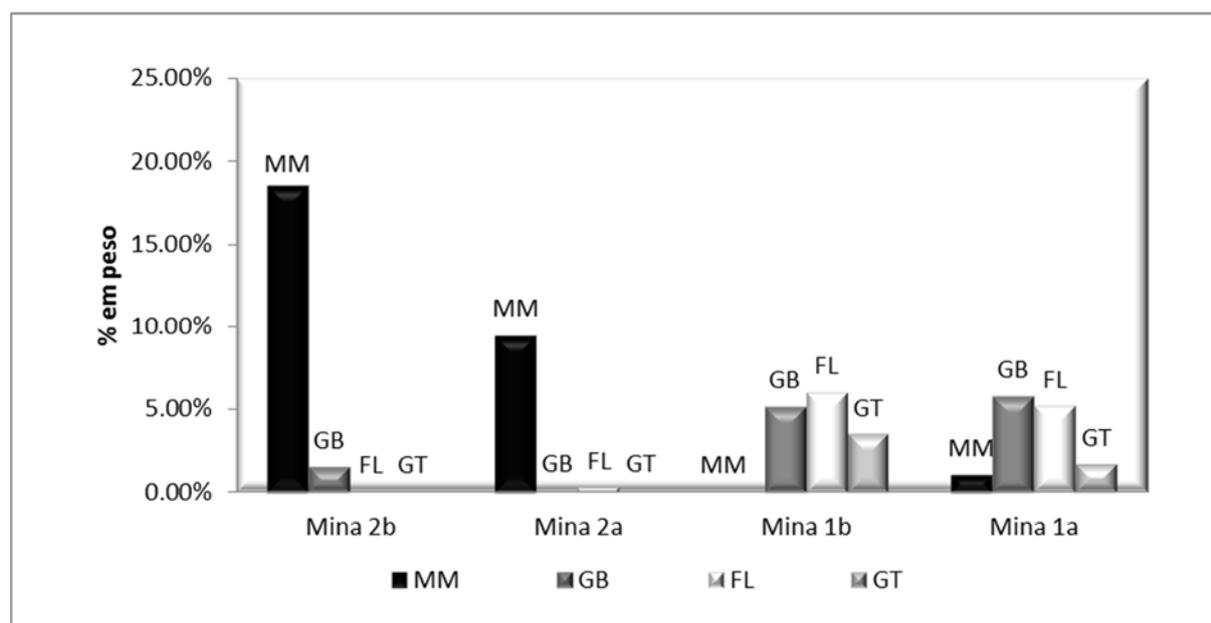


Figura 02: Distribuição das impurezas nas amostras de ROM do Complexo minerador, em termos mineralógicos. Os minerais de manganês (MM) ocorrem com abundância nas amostras da mina (2) e as feições mineralógicas: goethita botrioidal (GB), filossilicato (FL) e goethita terrosa (GT) ocorrem com grande participação nas amostras da mina (1).

Para a amostra da mina 2a, o mineral de manganês ocorre em cerca de 9% (em massa) da amostra, com distribuição irregular, com aspecto terroso, não sendo possível a distinção de cristais. Os contatos entre esses grãos são irregulares, e sua forma é definida pelos grãos que os circundam. É comum ocorrerem como massa terrosa no interior dos poros de outros minerais, com granulação muito fina (figura 03). Segundo Rocha (2008), existe a possibilidade da existência de P e Mn alojados na estrutura da goethita.

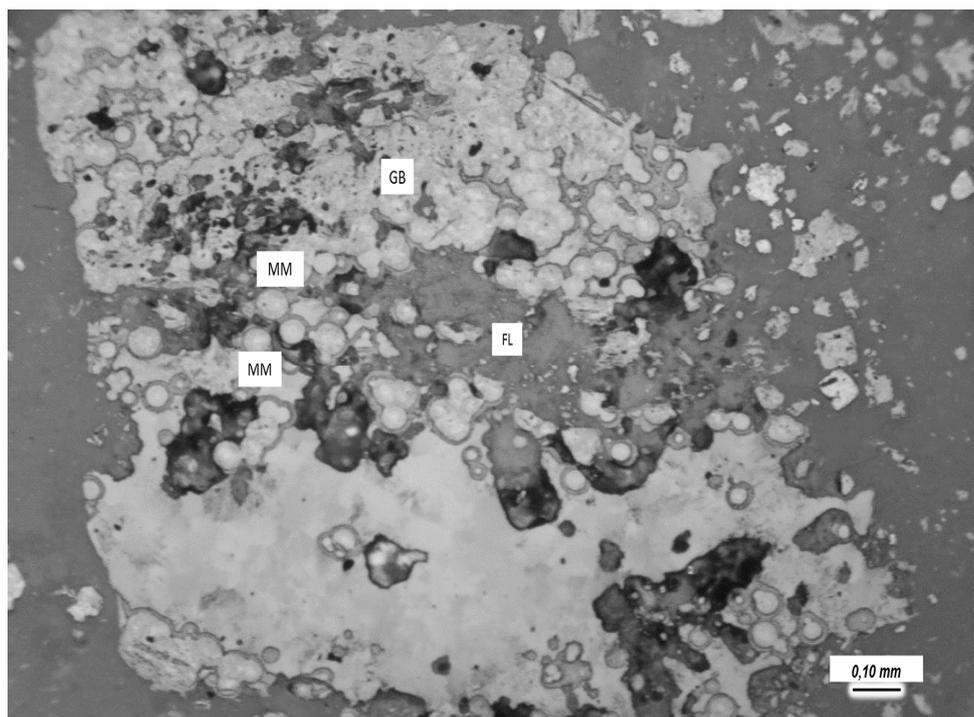


Figura 03: Fotomicrografia de partícula de goethita botrioidal (GB) preenchida nos interstícios por minerais de manganês (MM) e filossilicatos (FL) para a amostra mina 2a. Luz refletida, nicóis paralelos.

No ensaio de difração por raios-X, amostras da mina 1a e mina 1b, mostraram-se bastante similares, sendo compostas por: hematita (fase majoritária), goethita, quartzo e caulinita (fases minoritárias). Não foi observada, em quantidade acima do limite de detecção do difratômetro de raios X, nenhuma fase portadora de Mn nestas amostras, provavelmente pela distribuição espacial das partículas.

As amostras da mina 2a e mina 2b foram submetidas à análise de difração de raios X, (figura 04) e os resultados mostraram que as mesmas são compostas majoritariamente por hematita. Outras fases minoritárias também foram observadas: goethita, clinocloro, quartzo, talco e birnessita. Este último mineral é um óxido hidratado de Mn, contendo pequenas quantidades de Na, Ca e K (Jones e Milne, 1956). A dolomita e a caulinita foram indicadas como possíveis de estarem presentes (quantidade minoritária) na primeira amostra. Para a segunda amostra, a mineralogia é bastante similar à primeira, exceto com relação à dolomita que não foi identificada. Na análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV-EDS) para a amostra da mina 2a, foram detectadas duas formas de ocorrência de Mn: a primeira associada à goethita e a outra como fase individual. A composição química da fase rica em Mn é bastante complexa e aparenta apresentar diversas substituições na estrutura (figura 05).

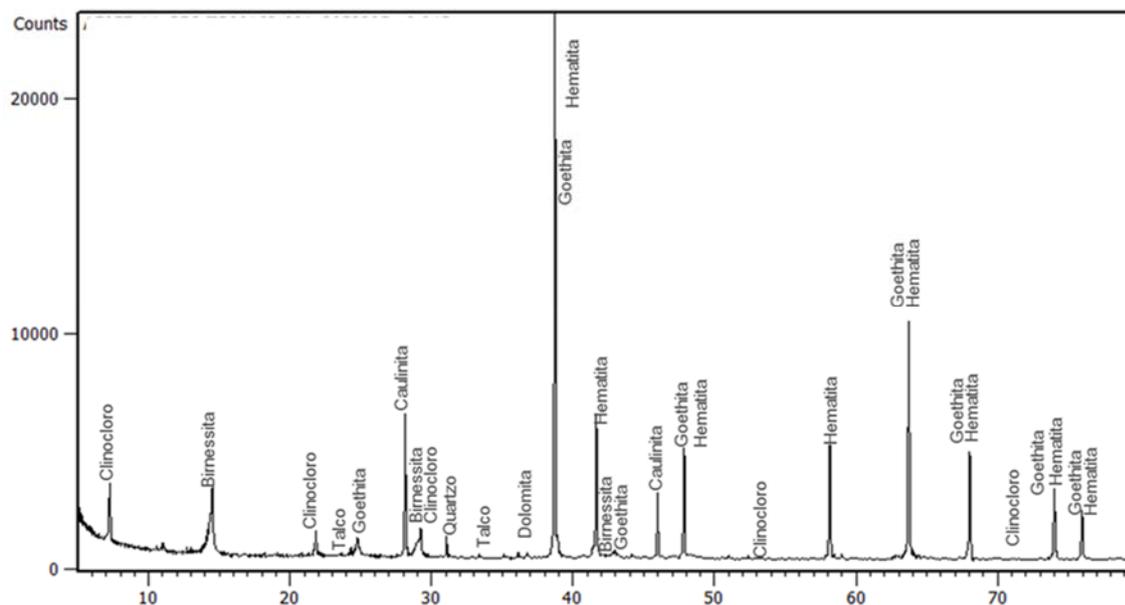


Figura 04: Difratoograma de raios-X da amostra da mina (2 – a).

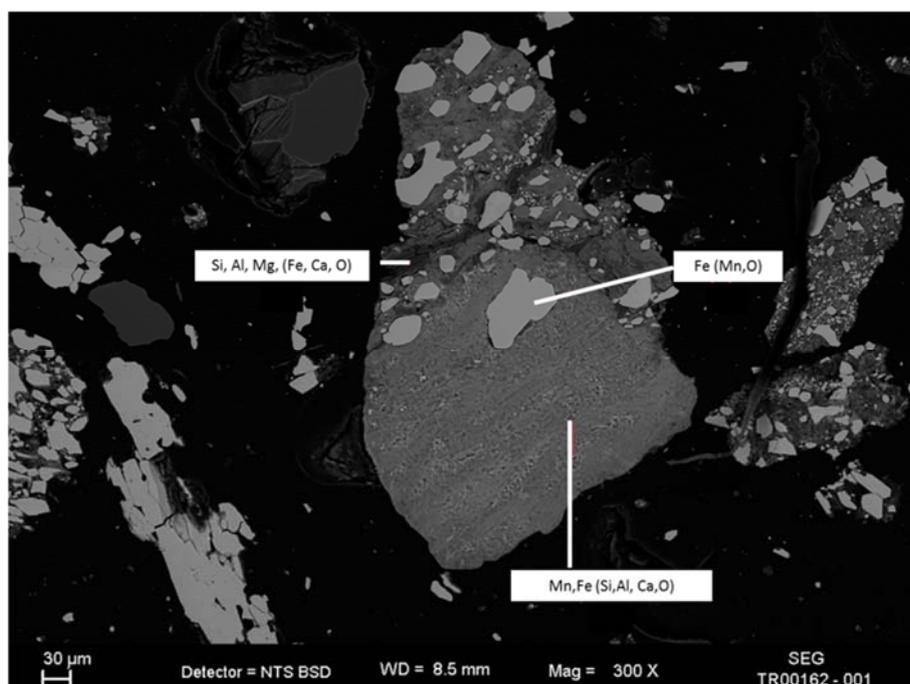


Figura 05: MEV, imagem de elétrons retroespalhados, mostrando a composição química da fase rica em Mn, bastante complexa.

Para a amostra da mina 2b, também foram detectadas duas formas de ocorrência de Mn: associadas à goethita e como fase individual. A microanálise desta amostra é semelhante à amostra anterior à mina 2a, entretanto não foi detectada a ocorrência do mineral dolomita. Chama atenção na amostra a presença de diversas partículas mistas de hematita e de fase rica em manganês (figura 06).

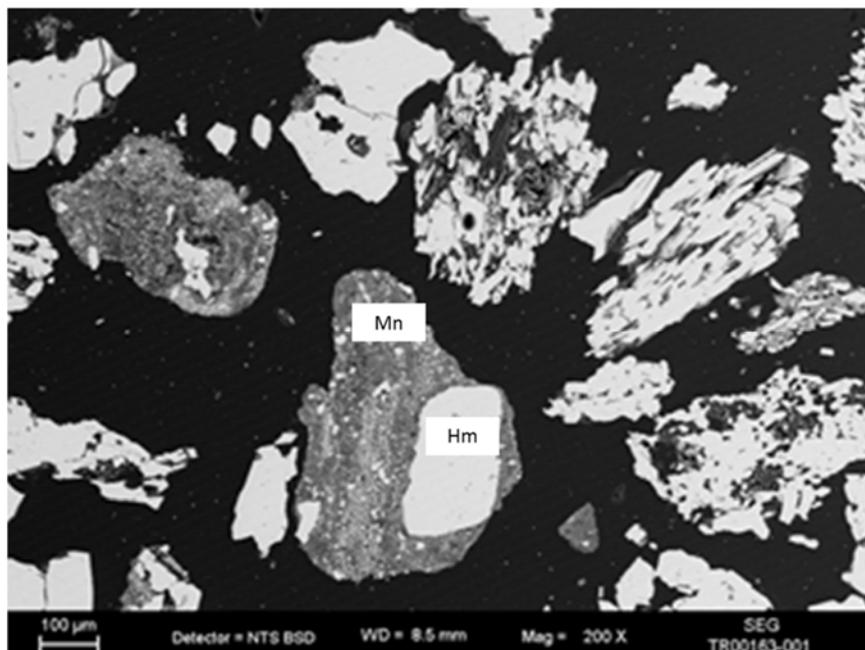


Figura 06: MEV, imagem de elétrons retroespalhados. Aspecto micromorfológico de partícula mista de hematita (Hm) e fase de manganês (Mn) na amostra da mina 2.

Para a amostra da mina 1b, é possível observar o Mn associado aos minerais de ferro. É frequente a associação da hematita com minerais de Al, Mn e Si (figura 09). As análises microquímicas revelaram partículas mistas com hematita lamelar associada ao mineral de Mn. Deste modo, o Mn foi detectado em duas fases: associadas à goethita e como uma fase individual de Mn.

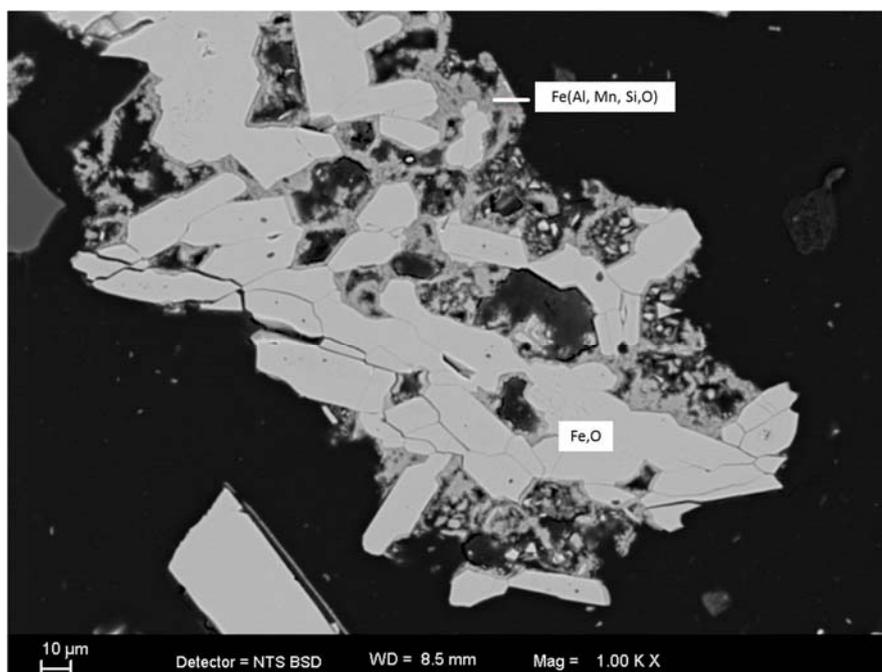


Figura 09: MEV, imagem de elétrons retroespalhados. Aspecto micromorfológico de partícula mista em amostra da mina 1.

## 4 CONCLUSÃO

A composição das amostras da mina 2 é mais complexa se comparada às amostras da mina 1, pois a primeira apresenta uma mineralogia mais variada, composta por um número maior de fases. O manganês tem teor menor nas amostras da mina 1 do que da mina 2. Para a mina 2, o manganês ocorre de duas formas nas amostras: goethita portadora de  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e  $MnO$ , como fase individual de Mn com Fe,  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$  e Ca, que provavelmente ocorrem como substituições isomórficas na estrutura desta fase. No tange as partículas foram encontradas três classes importantes de partículas mistas: hematita + quartzo; hematita + goethita (portadora de Al, Si e Mn) e hematita + mineral de Mn. Cabe ressaltar que essas partículas mistas podem aumentar o teor de Mn, alumínio e sílica no concentrado. Podem também contribuir para o aumento do teor de Fe no rejeito, pois algumas partículas ricas em ferro poderão não ser atraídas pelo campo magnético. De posse das informações mineralógicas e microestruturais, faz-se necessário estudo mais aprofundado com relação a novo processo de tratamento de minério, tais como flotação, pois o manganês se encontra alojados no intertísticos das microcavidades das goethitas e minerais porosos.

## Agradecimentos

A autora agradece ao Centro de Tecnologia de Ferrosos - (CTF) - Miguelão da empresa Vale S.A.

## REFERÊNCIAS

- 1 JONES, L.H.P; MILNE, A.A.(1956) Birnessite, a new manganese oxide mineral from, Aberdeenshire, Scotland. Journal of the mineralogical society. 1956; Nº 235, Vol XXXI.
- 2 PERES, A.E.C.; SALUM, M.J.G.; VALADÃO, G.E.S.; ARAÚJO, A.C. Métodos de Concentração. pp. 105-139. In: Introdução ao Tratamento de Minérios. 2007; Belo Horizonte. Editora: UFMG.
- 3 QUARESMA, F.L. Balanço Mineral Brasileiro. 2001.
- 4 ROCHA, J. M. P. Definição da Tipologia e Caracterização Mineralógica e Microestrutural dos Itabiritos das Minas de Alegria da Samarco Mineração S.A.- MG. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG, 2008.144p. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas da Universidade Federal de Minas Gerais.
- 5 ROCHA, J. M. P.; BRANDÃO, P. R. G Investigação da microestrutura de minerais de ferro típicos de itabiritos anfíbolíticos alterados do Quadrilátero Ferrífero (Brasil). In: I Congresso Internacional Geociências na CPLP: Universidade de Coimbra, Portugal. 2012. p. 309-319.
- 6 ROSIÈRE, C. A.; CHEMALE JUNIOR, F. (2000) Itabiritos e minérios de ferro de alto teor do Quadrilátero Ferrífero: uma visão geral e discussão. 2000; *Genomos*, v. 8, n. 2, p. 27-42.
- 7 SAMPAIO, J.A.; LUZ, A.B.; LINS, F. F. Usinas de Beneficiamento de Minérios no Brasil. 2004.
- 8 Silva, A. T. Tratamento de Minérios. Belo Horizonte: EEUFMG.1973.
- 9 Vale S.A. AE-057/14- Assessoramento: caracterização de amostras de diferentes litotipos – CTF 2014 (Relatório Interno).