

Rejeito de minério de ferro depositado em barragem: caracterização para definição de processo para reciclagem econômica

Lys Daniele da Costa Tavares ^{1*} 
Paulo Roberto Gomes Brandão ¹ 

Resumo

Na concentração de minérios, parte da massa inicial torna-se rejeito, sendo depositado em barragens, o que pode gerar passivos ambientais. Com isso, foi realizado o estudo com um rejeito de minério de ferro, com o objetivo de definir uma rota para o seu aproveitamento, a partir da caracterização químico-mineralógica-microestrutural. Assim, foram realizadas análises granulométricas, de microscopia ótica, difratometria de raios-X e QEMSCAN. Foi observada forte presença de hematita compacta e um grau de liberação favorável para geração de subprodutos para blendagem com outros produtos do setor mineral.

Palavras-chave: Rejeito; Caracterização mineral; Rota de processo.

Tailings of iron ore deposited in dam: characterization for process definition for economic recycling

Abstract

In the concentration of ores, part of the initial mass becomes tailings, being deposited in tailing dams, which may generate environmental liabilities. Thus, a study was carried out with an iron ore tailing, with the objective of defining a route for its beneficiation, based on the chemical-mineralogical-microstructural characterization. For this, optical microscopy, X-ray diffractometry and QEMSCAN analyses were performed. A major presence of compact hematite and a high degree of liberation have been observed. These aspects were considered favorable for treatment and use in blending with other products of the mineral sector.

Keywords: Tailings; Mineral characterization; Process route.

1 Introdução

No Brasil, oito substâncias da classe dos minerais metálicos destacaram-se por corresponderem a 98,5% do valor da produção comercializada da classe, quais sejam: alumínio, cobre, estanho, ferro, manganês, nióbio, níquel e ouro, com destaque para a expressiva participação do ferro nesse montante, cuja produção é concentrada, principalmente, nos estados de Minas Gerais e Pará [1]. O beneficiamento de minério de ferro na fração mais grossa constitui-se de britagem e classificação, gerando dois produtos básicos, granulado e o *sinter feed*, com baixos teores de sílica. Os finos oriundos da etapa de classificação, geralmente apresentam teores elevados de sílica, cuja redução é possível pelo processo de concentração, seja separação magnética e/ou flotação.

Para que haja um máximo aproveitamento do minério, é necessária uma caracterização do mesmo. Essa etapa é crucial, uma vez que possibilita o dimensionamento da rota de processo e, ainda, permite identificar, com precisão, ineficiências e perdas em processos existentes, viabilizando a otimização do rendimento global de uma planta [2]. Como a maioria das usinas de beneficiamento possui a etapa de concentração, além da geração de concentrado, ocorre a geração de rejeito, o que pode criar passivos ambientais. Com isso, as empresas de mineração estão cada vez mais se empenhando em avançar as suas técnicas de recuperação de rejeitos. A partir desse cenário, foi realizado estudo com um rejeito de minério de ferro, com o objetivo de definir uma forma de aproveitamento para esse rejeito, a partir da caracterização químico-mineralógica.

¹Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil.

*Autor correspondente: lysdaniele.tavares@gmail.com



2 Materiais e métodos

A metodologia aplicada nesse estudo constou em amostragem em barragem e caracterização detalhada das amostras. Para a etapa de amostragem, foi considerada a representatividade da amostra em barragem. Após a coleta, as amostras foram homogeneizadas e quarteadas em frações, conforme aplicabilidade na caracterização.

2.1 Caracterização químico-mineralógica-microestrutural

As amostras foram usadas para o estudo de caracterização mineral e testes em bancada. Com relação aos ensaios de caracterização, além da microscopia de luz refletida, foram também realizadas análises por difratometria de raios-X (DRX), método que permite a determinação das fases a partir de espectro gerado pela estrutura cristalina [3] e QEMSCAN, método e instrumento automatizado que combina as imagens de elétrons retroespalhados do microscópio eletrônico de varredura (MEV) com análises de espectrometria de raios-X por dispersão de energia (EDS) [4]. O QEMSCAN é um sistema automatizado, que fornece informações mineralógicas completas, como análise e liberação mineral para minérios e rochas [5].

Após a preparação dessas amostras em laboratório, foi retirada uma alíquota para análise granulométrica em peneiras e por difração de laser. Além disso, a massa restante foi classificada em 2,0mm (simulando o peneiramento de preparação granulométrica para a etapa de concentração magnética). A fração +2,0mm foi analisada quimicamente e posteriormente arquivada. Com a fração -2,0mm foi realizada análise química. Para essas análises, foram aplicados os métodos de espectrometria de fluorescência de raios-X e gravimetria tradicional.

A quantificação da composição mineralógica dessas amostras foi somente por meio de microscopia de luz refletida, método que permite avaliar qualitativamente as características morfológicas e texturais das partículas presentes na amostra [5]. A Figura 1 representa o fluxograma simplificado proposto para a caracterização das amostras.

Para as análises de microscopia de luz refletida, utilizada para identificar minerais opacos (óxidos e oxi-hidróxido de ferro), foram utilizados microscópios petrográficos Leica, modelos DMLP, DM2500P e DM6000M (com analisador de imagens). Para determinar a composição mineralógica, foi realizada análise modal. Essa foi validada a partir da média da composição química de cada espécie mineral e a pela comparação com os resultados da análise química quantitativa, por espectrometria de fluorescência de raios-X.

Para as análises de DRX, foi adotado o método do pó, em que as amostras foram pulverizadas abaixo de 0,045mm, prensadas e analisadas no difratômetro de raios-X PANalytical (modelo *Empyrean*) usando tubo de anodo de cobalto; as fases cristalinas foram identificadas e interpretadas pelo software TOPAS. Para as análises de QEMSCAN, as

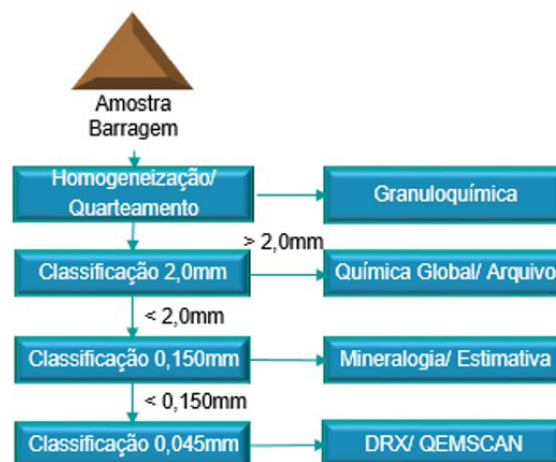


Figura 1. Fluxograma simplificado para caracterização das amostras.

amostras foram primeiramente embutidas em resina epóxi e polidas em politriz manual; em seguida, foram recobertas com camada de carbono, para torná-las condutoras quando fossem incididas pelo feixe de elétrons.

3 Resultados e discussão

3.1 Caracterização químico-mineralógica-microestrutural

A partir dos resultados das análises química, observa-se que as amostras apresentam teores de Fe similares (entre 46% e 50%) e de SiO₂ similares (entre 23% e 28%). Com relação aos componentes deletérios, os teores de P mantiveram-se na faixa de 0,031% a 0,059%; os teores de Al₂O₃ os valores da amostra 1 são os mais altos, 2 e 3 são similares e 4 o mais baixo. Já os teores de Mn e MgO mostraram-se bem elevados, provavelmente oriundos de minerais manganíferos, mica ou talco. Em relação à granulometria, as frações avaliadas possuem os percentuais mássicos similares. Na Tabela 1, observa-se a composição química das amostras com fração granulométrica abaixo de 2mm.

Com relação à quantificação mineralógica, observa-se na Tabela 2 uma forte presença de minerais portadores de ferro, principalmente as hematitas compactas, nas feições lamelar, especular e granular; goethita terrosa é significativa. O quartzo é o principal mineral de ganga, com teores variando de 22,88 a 27,17%. Usando o QEMSCAN, o grau de liberação de quartzo foi determinado, sendo o mesmo classificado como muito alto, de 96,7% na amostra 3 até 99,7 na amostra 1.

Os minerais de manganês estão presentes em todas as amostras, apresentando aspecto terroso. Já a caulinita e a gibbsita têm baixo teor nestas amostras, assim como a magnetita e a hematita martítica. Estes aspectos são observados na Figura 2.

Tabela 1. Composição química das amostras (*análise realizada em malha -2mm*)

Amostras	Fração (mm)	Massa (%)	Análise Química								
			Fe	SiO ₂	P	Al ₂ O ₃	Mn	TiO ₂	CaO	MgO	PPC
AM 1	Global	100,00	47,12	22,26	0,059	1,80	1,057	0,055	0,048	4,654	2,89
AM 2	Global	100,00	46,84	27,59	0,041	1,22	0,582	0,055	0,033	1,876	1,95
AM 3	Global	100,00	45,85	26,37	0,053	1,34	0,780	0,054	0,061	2,747	2,16
AM 4	Global	100,00	49,87	24,95	0,031	0,40	0,410	0,040	0,042	1,356	1,09

Tabela 2. Quantificação mineralógica das amostras, por microscopia de luz refletida

Amostras	Quantificação Mineralógica (%)											
	HC	HM	M	G	GT	QL	QM	MM	C	Gb	M	OM
AM 1	61,06	0,00	0,00	0,68	10,29	22,82	0,06	0,39	0,00	0,75	0,00	3,94
AM 2	51,68	2,31	0,97	3,76	7,69	26,69	0,48	1,67	0,64	0,15	0,00	3,96
AM 3	54,58	0,00	0,00	1,40	11,63	26,26	0,91	1,71	0,00	0,74	0,00	2,77
AM 4	64,35	0,73	0,00	4,39	2,84	23,36	0,49	0,54	0,91	0,05	0,00	2,31

Legenda: HC (hematitas compactas); HM (hematita martítica); M(magnetita); G (goethita maciça); GT (goethita terrosa); QL (quartzo livre); QM (quartzo misto); MM (minerais de manganês); C (caulinita); Gb (gibbsita), M (mica) e OM (outros minerais).

Além da microscopia de luz refletida, as amostras foram submetidas a análises de difratometria de raios-X cujos difratogramas são apresentados na Figura 3, com objetivo de ratificar a composição das amostras.

Os resultados encontrados também mostraram a forte presença da hematita em todas as quatro amostras; além disso, foram detectados goethita, caulinita e talco, conforme a Tabela 3.

Com relação às análises via QEMSCAN, observou-se também, nas quatro amostras, a presença elevada de óxidos de ferro (essencialmente hematita) e oxi-hidróxido de ferro (goethita).

Comprovou-se que o quartzo é o principal mineral de ganga. Quanto à liberação, o quartzo foi encontrado em 34%, em média, nas partículas das amostras e possui um grau de liberação acima de 90%. A Figura 4 mostra o grau de liberação do quartzo nas quatro amostras analisadas. Quando misto, o quartzo aparece, basicamente, associado ao óxido de ferro.

Dentre os outros minerais de ganga, determinou-se talco e grunerita, que não foram determinados pela microscopia óptica e DRX. As Figuras 5A e 5B mostram aspectos microestruturais típicos obtidos via QEMSCAN para a amostra AM4.

Além dos minerais já citados na MLR e DRX, o QEMSCAN também foram identificados vários minerais minoritários e traços, que foram a biotita, moscovita, clorita, actinolita, ilmenita, rutilo, dolomita, ankerita, calcita, apatita, pirita e zircão.

A partir dos resultados discutidos e tendo em vista que as minerações adotam perfis de minérios próprios, de forma a oferecerem produtos com as principais características de mercado, torna-se comum a blendagem de minerais de forma a atender as características químicas e físicas exigidas pelas siderúrgicas [6]. A caracterização acima evidencia

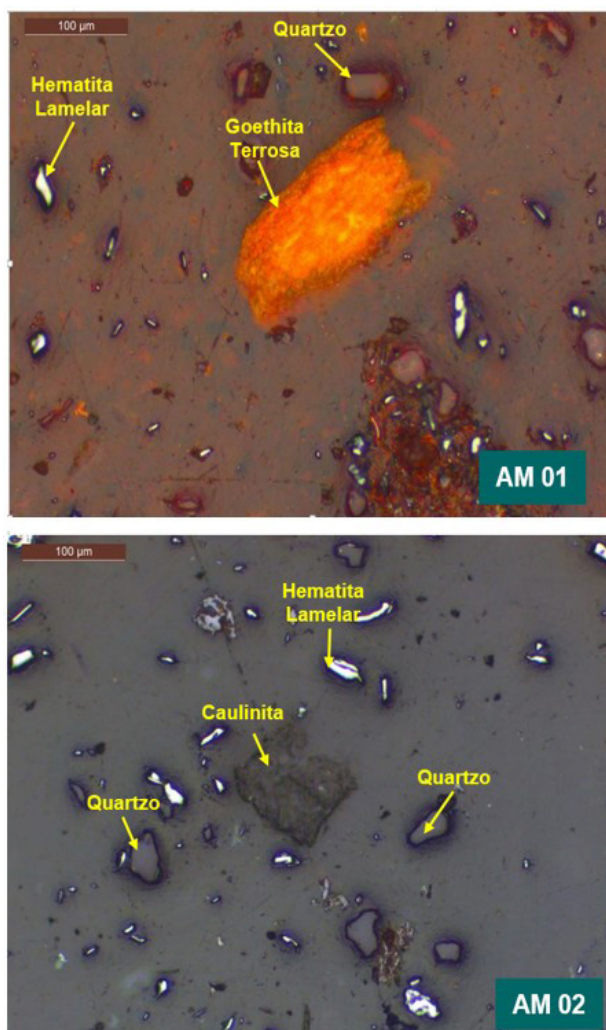


Figura 2. Microscopia de luz refletida para as formas de ocorrência dos minerais quartzo, hematita lamelar e goethita terrosa na AM 1 e, hematita lamelar, caulinita e quartzo na AM2.

Tabela 3. Composição mineralógica das amostras por DRX; quantificação baseada na abordagem de Rietveld

Amostras	Estimativa da Composição Modal (%)				
	Goethita	Quartzo	Hematitas	Caulinita	Talco
AM 1	12,90	14,40	59,00	1,50	12,20
AM 2	9,40	25,00	58,50	1,10	5,90
AM 3	8,40	21,60	59,90	1,00	9,10
AM 4	4,30	25,30	65,00	0,60	4,80

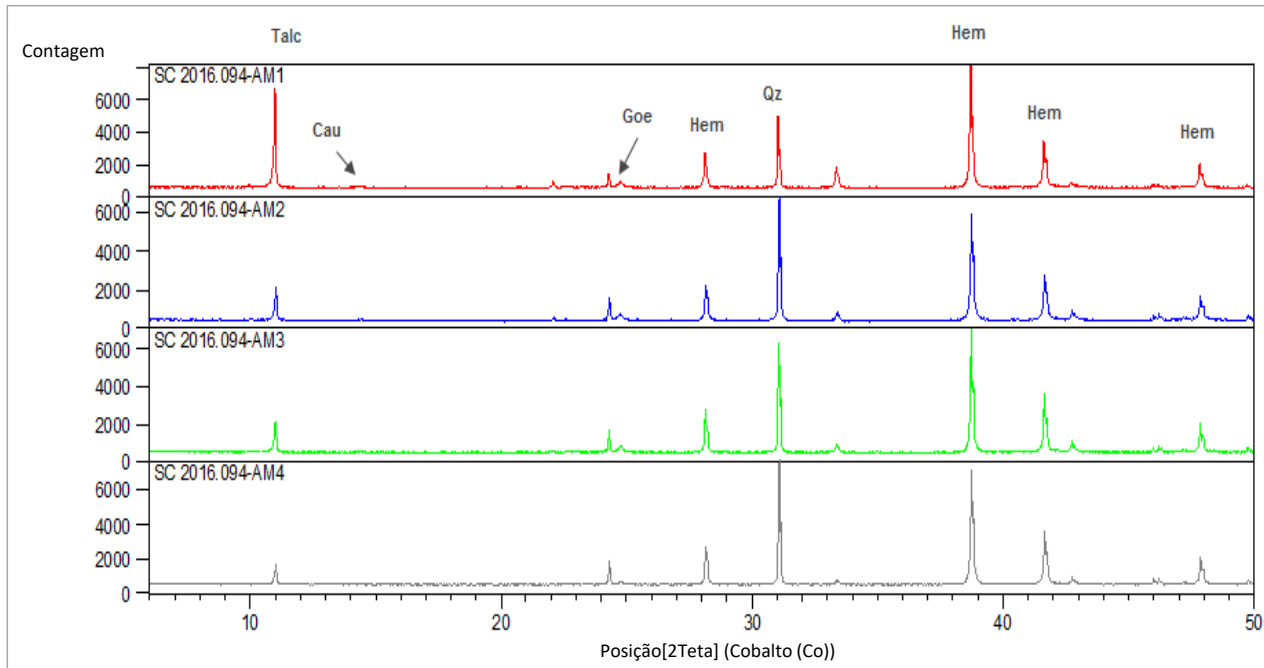


Figura 3. Gráfico comparativo dos difratogramas das amostras.

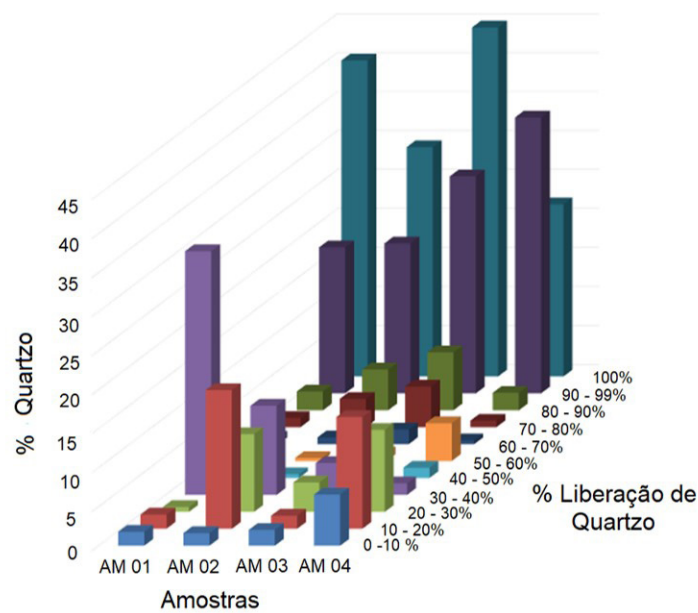


Figura 4. Resultado do grau de liberação do quartzo, via análise QEMSCAN.

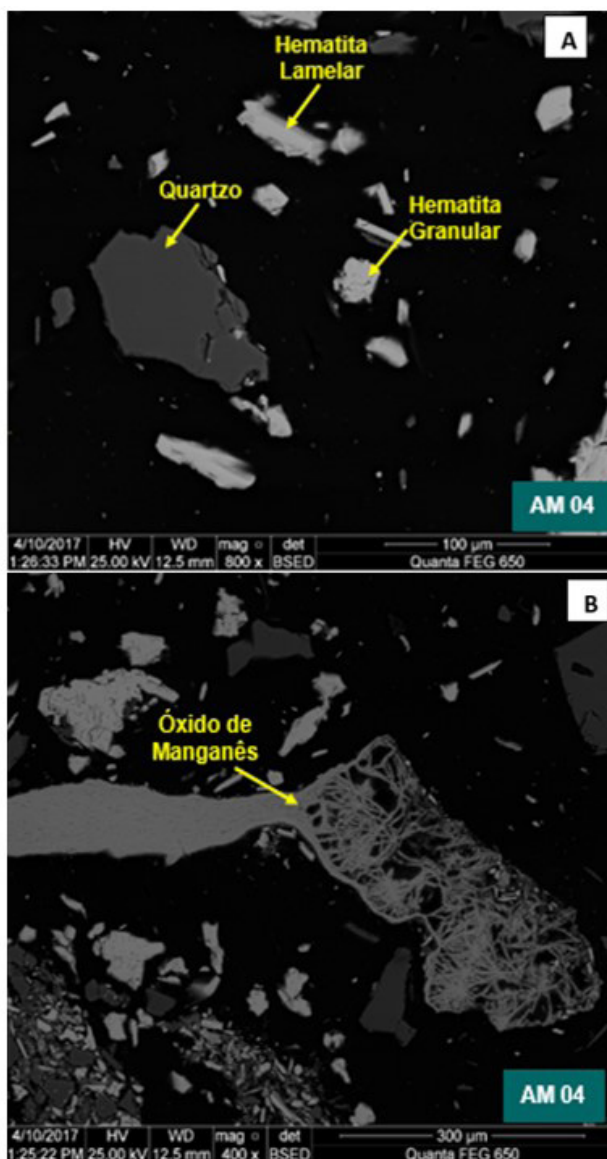


Figura 5. Imagem de elétrons retroespalhados da amostra AM4, via QEMSCAN indicando aspectos microestruturais: (A) hematita lamelar, quartzo e hematita granular e (B) óxido de manganês.

um minério de granulometria abaixo da fração 2mm, com presença significativa de minerais de ferro e com alto grau de liberação de quartzo, o que favorece etapas de concentração, muito condizente com as características químicas e físicas do *sinter feed* [6].

4 Conclusão

A partir dos dados da caracterização mineralógica, principalmente DRX e QEMSCAN, as amostras mostraram presença significativa de quartzo liberado em todas as amostras e hematita compacta. Importante ressaltar que a difração de raios-X e o QEMSCAN possibilitaram identificar minerais que não foram detectados pela microscopia ótica, como o talco, contribuindo significativamente para a caracterização.

O grau de liberação do quartzo nas amostras foi consistente nos dois métodos usados: microscopia de luz refletida e QEMSCAN, este usando MEV e EDS, que é um sistema integrado automatizado compreendendo um microscópio eletrônico de varredura (MEV) com espectrometro de raios-X de dispersão de energia (EDS) acoplado e um software para tratamento dos dados.

Além disso, a caracterização informou também que essa barragem possui uma composição química e mineralógica que possibilita o aproveitamento desses resíduos na geração de subprodutos para blendagem com outros produtos do setor mineral, uma vez que nos resultados encontrados constatou-se quantidade relevante de minerais de ferro (presença de goethita e hematita) e presença significativa de quartzo liberado.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES/PROEX, ao PPGEM-UFMG e ao CNPq, por uma bolsa e recursos de pesquisa, processo no. 309883/2015-6.

Referências

- 1 Pinheiro WF, Filho OBF, Neves CAR. Anuário mineral brasileiro: principais substâncias metálicas. Brasília, DF: DNPM; 2016.
- 2 Neumann R, Schneider CL, Alcover-Neto A. Caracterização tecnológica de minérios. In: Luz AB, editor. Tratamento de minérios. 4. ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT; 2004. p. 55-109.
- 3 Queiroz LA. Caracterização de minérios da Mina de Brucutu, Vale, focada na previsibilidade das operações de concentração mineral [tese]. Belo Horizonte: Escola de Engenharia UFMG; 2008.
- 4 Gonçalves TAR, Peres AEC. Técnicas de microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura automatizada (QEMSCAN) aplicada a diferente tipologia de minério de ferro. Tecnologia em Metalurgia, Materiais e Mineração. 2015; 12(4): 342-349.
- 5 Jena SK, Sahoo H, Rath SS, Rao DS, Das SK, Das B. Characterization and processing of iron ore slimes for recovery of iron values. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2015;36(3):174-182.

6 Chemale F Jr, Takehara L. Minério de ferro: geologia e geometalurgia. São Paulo: Blucher; 2013.

Recebido em: 18 Dez. 2021

Aceito em: 4 Out. 2022