

INFLUÊNCIA DA GÊNESE DO MINÉRIO DE FERRO ITABIRITICO NAS ETAPAS DE CONCENTRAÇÃO DE FINOS VIA CONCENTRAÇÃO MAGNÉTICA DE ALTA INTENSIDADE E FLOTAÇÃO¹

*Rejaine Aparecida Souza*²

*William Whitaker*³

*Fabrizio Agostino Bontempo*⁴

*Carlos Estevam da Silva*⁵

*Lucas Resende Fazzion*⁶

Resumo

A correlação entre a gênese do minério de ferro com as performances das operações unitárias de concentração indicam forte interdependência. Esse estudo caracterizou dois tipos de itabiritos de composição mineralógica diferenciada, sendo um especularítico e outro predominantemente especularítico/martítico. Apesar de suas características químicas e granulométricas serem muito semelhantes, ensaios de concentração magnética e concentração por flotação em laboratório da fração granulométrica -1,0mm mostraram performances de processo diferentes entre as amostras. Os resultados indicam dificuldades na obtenção de pellet feed com qualidade via concentração magnética, quando se têm itabiritos especularítico/martítico presentes na alimentação. Para esses tipos de recursos minerais sugere-se um fluxograma de processo otimizado associando operação unitária de concentração magnética no estágio rougher com concentração por flotação no estágio cleaner da fração granulométrica -0,150mm. Diferenças de susceptibilidade magnética das partículas e suas formas indicam ser determinantes para a qualidade do concentrado e os rendimentos dos processos.

Palavras-chave: Concentração magnética; Flotação; Gênese; Mineralogia.

INFLUENCE OF THE ITABIRITIC IRON ORE GENESIS IN THE STEPS OF FINE CONCENTRATION BY HIGH INTENSITY MAGNETIC CONCENTRATION AND FLOTATION

Abstract

There is a correlation between iron ore genesis and operations performances of concentration that indicates high interdependence. This study characterized two types of itabirites of differentiated mineral composition one was specularitic and the other was predominantly specularitic/martitic. In spite of chemical and size distribution characteristics are very similar, magnetic concentration and flotation concentration tests of the size fraction -1,0mm had shown different performances of process among samples. The results indicate difficulties to obtain a high quality pellet feed by magnetic concentration when specularitic/martitic itabirites are present. For these types of mineral resources, an optimized process flowchart is suggested associating "rougher" operation by magnetic concentration and "cleaner" concentration by flotation of the size fraction -0,150mm. Differences of magnetic susceptibility of particles and their forms indicate that these are determinative for the final quality of the pellet feed and its performance in the processes.

Key words: Magnetic Concentration; Flotation; Genesis; Mineralogy.

¹ *Contribuição técnica ao 39º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 10º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 22 a 26 de novembro de 2009, Ouro Preto, MG.*

² *Engenheira Geóloga, Engenheira de Desenvolvimento PI - Mineração Casa de Pedra CSN.*

³ *M.Sc. Engenharia Mineral, Coordenador de Desenvolvimento - Mineração Casa de Pedra CSN.*

⁴ *Engenheiro de Minas, Gerente de Desenvolvimento - Mineração Casa de Pedra CSN.*

⁵ *M.Sc. Engenharia Mineral, Engenheiro de Desenvolvimento Esp - Mineração Casa de Pedra CSN.*

⁶ *Engenheiro de Minas, Engenheiro de Desenvolvimento JR - Mineração Casa de Pedra CSN.*

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos cinco anos, a Mineração Casa de Pedra, pertencente à CSN, intensificou estudos de concentração magnética para tratamento de rejeitos da sua planta de beneficiamento atual (lamas e rejeitos de flotação *rougher*). O sucesso desses ensaios de concentração do ferro presentes nas lamas e nos rejeitos de flotação levou a aplicabilidade dessa operação unitária para as frações granulométricas -1,0 mm de diferentes minérios presentes nas suas reservas minerais, bem como nas reservas da Nacional Minérios S.A, também pertencente à CSN. Porém, para a garantia de desempenho de uma operação de concentração é fundamental uma profunda caracterização tecnológica dos minérios.

O minério de ferro apresenta uma série de características químicas, granulométricas, mineralógicas e microestruturais que dependem da sua gênese. A gênese de um minério consiste da sua origem e evolução, ou seja, envolve todas as alterações sofridas pelo protólito (rocha da qual se originou o minério) a partir da sua deposição, até atingir sua forma atual. Fatores como ambiente de deposição, variações de temperatura e pressão durante o metamorfismo, processos deformacionais e alterações intempéricas são determinantes da gênese do minério. Morris⁽¹⁾ faz uma síntese bibliográfica dos principais modelos de gênese de minério de ferro já proposto, que geneticamente estão associados a processos: singenéticos - são referentes a concentrações sedimentares/diagenéticas não modificadas ou modificadas pelo metamorfismo; supergênicos – incluem a concentração residual e o enriquecimento, através da lixiviação da ganga, com oxidação e hidratação de minerais de ferro primários, podendo ou não haver um subsequente metamorfismo; hipogênicos – podem ser metamórficos ou não. Os primeiros consistem da concentração residual com remoção da ganga e enriquecimento com a substituição da ganga por óxido de ferro, por fluidos conatos aquecidos ou meteóricos recirculados, provenientes do metamorfismo regional.

A mina Casa de Pedra (origem das amostras estudadas) está localizada no setor central da junção de duas megaestruturas do Quadrilátero Ferrífero - Sinclinais Dom Bosco e Moeda, e engloba dois corpos de minério de ferro supergênicos (com metamorfismo e tectonismo associado), hospedados na formação ferrífera bandada Cauê, do Supergrupo Minas.⁽²⁾

Várias classificações são adotadas para diferenciação dos tipos de minério de ferro, dentre elas, destaca-se a que subdivide os cristais de hematita em cinco grupos, que refletem o grau de metamorfismo dos minérios. Esses cinco grupos são individualizados por ordem de metamorfismo crescente: microcristalino, martita, lobular, granular e lamelar.⁽³⁾ Dentro dessa classificação dois subgrupos minérios podem ser diferenciados:

- minérios metassomáticos - que são essencialmente especularíticos, geralmente originado por tectonismo associado, e com baixas concentrações de contaminantes (alumina, fósforo e PPC); e
- minérios supergênicos - são do tipo especularítico/martítico/goethítico, especularítico/martítico, martítico/especularítico, martítico/goethítico e goethítico, porém ambos apresentam com grande frequência a magnetita. Nota-se nesse tipo um menor grau de metamorfismo (conforme mineralogia apresentada) e menor atuação dos processos deformacionais, quando comparados com os minérios especularíticos.

Desta forma, estes tipos de minérios itabiriticos (metassomático / supergênico), com características mineralógicas bastante diferenciadas devem ter

desempenhos também diferenciados nas etapas de concentração de finos naturais em rotas previamente definidas, tais como, flotação, concentração magnética ou ambos associados. Esse estudo explora a questão da avaliação de duas amostras de itabiritos da mina Casa de Pedra, um itabirito tipicamente especularítico (característica metassomática) e o outro tipicamente especularítico / martítico / goethítico (característica supergênica). Estes minérios foram submetidos à concentração magnética e concentração por flotação em laboratório seguindo duas rotas de processo distintas, e com o auxílio das ferramentas de análises químicas e mineralógicas foi possível avaliar e correlacionar variáveis mineralógicas com os resultados de qualidade dos produtos gerados nesta caracterização tecnológica.

2 A CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DO MINÉRIO

O beneficiamento de minério de ferro se baseia fundamentalmente numa adequação no tamanho das partículas e em utilizar certas propriedades dos minerais que acabam por definir suas técnicas de concentração, sendo os óxidos e hidróxidos, as formas de interesse comercial mais comuns, entre os diversos tipos minerais de ferro, que ocorrem na natureza. Portanto a realização de estudos mineralógicos e de ensaios de concentração em laboratório deve consistir numa atividade sistemática e contínua ao longo da existência do empreendimento.

As várias técnicas aplicadas em caracterização mineral procuram abordar as características intrínsecas dos minerais minérios como tamanho e associações, mas também consideram os minerais de ganga que acabam por interferir no processamento do minério. As alternativas tecnológicas consideradas para a concentração desses minérios foram definidas baseando-se nos estudos tecnológicos prévios e na grande experiência da indústria no setor. A seguir tem-se uma descrição sucinta sobre os métodos de concentração adotados nesse estudo: Concentração Magnética e Flotação Catiônica Reversa.

Os concentradores magnéticos de alta intensidade tipo WHIMS se baseiam na diferença de susceptibilidade magnética entre hematita e o quartzo, possibilitando a separação destas fases minerais. Partículas liberadas de hematita ou partículas que contenha grandes quantidades de hematita na sua composição podem ser defletidas pela presença de um campo magnético, enquanto as partículas de quartzo liberadas e as partículas compostas principalmente por quartzo não sofrem com a atuação do campo magnético sendo direcionadas para o rejeito. Nos WHIMS, um carrossel contendo células magnetizadas pode ser alimentado de forma contínua. Cada célula contém placas magnetizadas por indução aumentando o gradiente do campo magnético no interior da célula para possibilitar a coleta de partículas susceptíveis magneticamente. Partículas do concentrado são literalmente aderidas a estas placas enquanto as partículas constituintes do rejeito devem fluir livremente entre as placas para fora das células. Na Figura 1 é apresentado um esquema básico de modelamento do concentrador WHIMS.

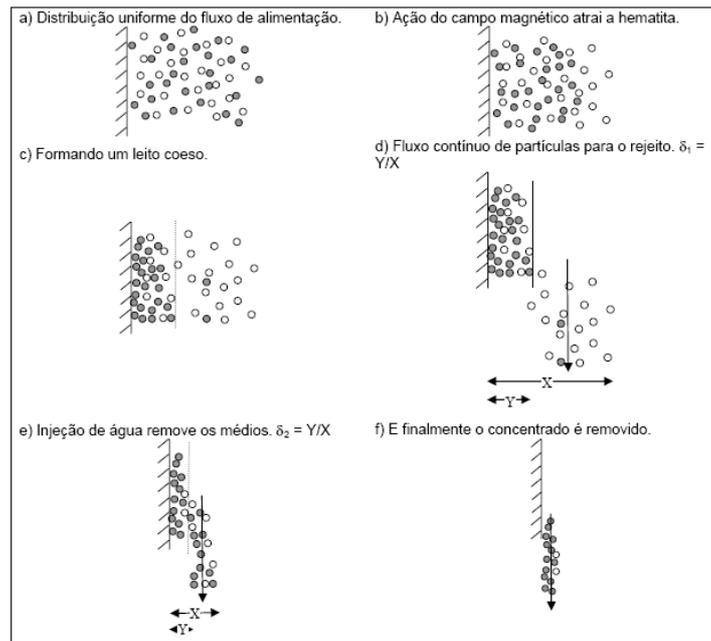


Figura 1: Modelo básico de processo concentração em concentradores de alta intensidade WHIMS.⁽⁴⁾

A Flotação em espuma, ou simplesmente flotação, é um processo de separação aplicado a partículas sólidas, que explora as diferenças nas características de superfície entre as várias espécies minerais presentes. O método trata misturas homogêneas de partículas suspensas em fase aquosa (polpas). A flotação catiônica reversa é um dos métodos de processamento mais utilizados na concentração de minérios de ferro, por promover de forma eficaz a separação entre hematita e quartzo. O princípio da separação baseia-se na diferença entre as propriedades de superfície do mineral a ser flotado, neste caso o quartzo, tornando-a hidrofóbica, enquanto, através da adição do amido, mantém-se a superfície da hematita hidrofílica. O modelo para flotação é apresentado na Figura 2.



Figura 2: Modelo básico de processo concentração em células de flotação, em escala de bancada.⁽⁵⁾

Três diferenças marcantes são observadas entre esses dois processos de concentração:

- fração granulométrica de operação: no WHIMS normalmente abaixo de 1,0 mm, dependendo do grau de liberação das partículas de quartzo, e na flotação abaixo de 0,15 mm;
- aplicação da operação de deslamagem anterior: no WHIMS desnecessário e na flotação fundamental;

- método de separação: no WHIMS baseia-se em propriedade física (magnetismo) e na flotação numa propriedade físico-química de superfície, após atuação de reagentes. Na Figura 3 são apresentados os equipamentos utilizados na realização dos testes de concentração.



Figura 3: À direita o equipamento utilizado nos testes de separação magnética (Gauftec - Minimag G 340), e a esquerda o equipamento flotação em bancada (CDC - modelo 1000-EEP) utilizado nos testes de flotação.

2.1 Mineralogia, Química e Granulometria

Por definição o termo itabirito se refere a uma formação ferrífera de fácies óxidos, laminada e metamorfisada, na qual as bandas de chert ou jaspe, originais, foram recristalizadas como quartzo granular e o ferro está presente como hematita, magnetita ou martita.⁽⁶⁾

As amostras escolhidas se constituem de finos naturais de itabiritos (fração granulométrica -1,0 mm) com características mineralógicas bem diferenciadas, quanto à morfologia dos cristais de hematita, e receberam a denominação de AM01 e AM02. Na Tabela 1 são apresentadas as características químicas e granulométricas dessas amostras, bem como o grau de liberação.

Tabela 1: Distribuição granulométrica, grau de liberação e química global, AM01 e AM02

#	Distribuição Granulométrica (%)			Grau de Liberação (%)		Química Global (%)	
	-1,0mm	-1,0 +0,150mm	-0,150mm	Hematitas	Quartzo	Fe	SiO ₂
AM01	98,91	9,39	89,52	99,91	99,79	46,00	31,00
AM02	95,69	10,72	84,97	99,96	99,92	45,99	32,66

A composição mineralógica dessas amostras foi determinada através da análise de seções polidas empregando microscópio petrográfico modelo Leica – DM 2500 P, utilizando luz refletida, objetiva (20x) e ocular (10x) que resultaram em um aumento de 200x. Objetivou-se caracterizar as fases minerais diferenciando as hematitas por aspectos morfológicos - granular, lamelar, microcristalina, martita e lobular, inclusões e/ou estruturas diminutas, entre outros. Para cada amostra analisada foram mensuradas as porcentagens de cada fase mineral presente, que ocorrem como partículas livres (cristais/agregado formados por um único mineral) ou como partículas mistas (agregados poliminerálicos). Os resultados obtidos, com a identificação dos óxidos/hidróxidos de ferro, das amostras em estudo, podem ser observados no gráfico da Figura 4.

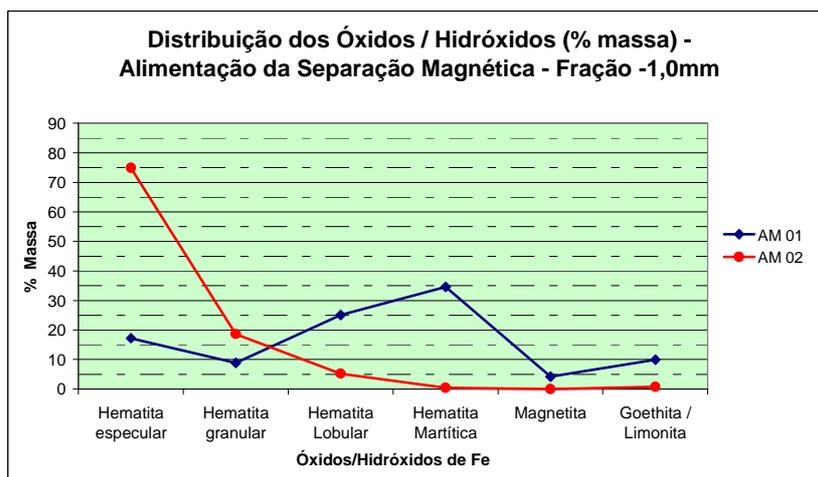


Figura 4: Distribuição dos óxidos/hidróxidos de ferro nas amostras AM01 e AM02.

A amostra AM01 apresentou maior característica supergênica, sendo classificada do tipo especularítico / martítico / goethítico (Hematita Especular - 50%; Hematita Martítica - 35%; Magnetita - 5%; e Goethita - 10%). A amostra AM02 se mostrou tipicamente especularítica (Hematita Especular - superior a 90%). A magnetita se exhibe, em ambos os casos, como relíctos em partículas de hematita martítica e hematita lobular, porém para amostra AM01 foi possível observar a magnetita preservada (pouco alterada), com o processo de martitização em estágio inicial. Nas fotomicrografias abaixo (Figura 5), a fração -1,0 mm foi separada em duas outras frações: -1,0+0,15 mm e -0,15 mm. Observa-se na AM02 que a maioria das partículas de óxido de ferro possui formas lamelares/tabulares. Para a AM01 há um predomínio de partículas com forma granular. Observação: como minerais especularíticos considera-se o somatório das seguintes morfologias: Hematita especular, hematita granular e hematita lobular.

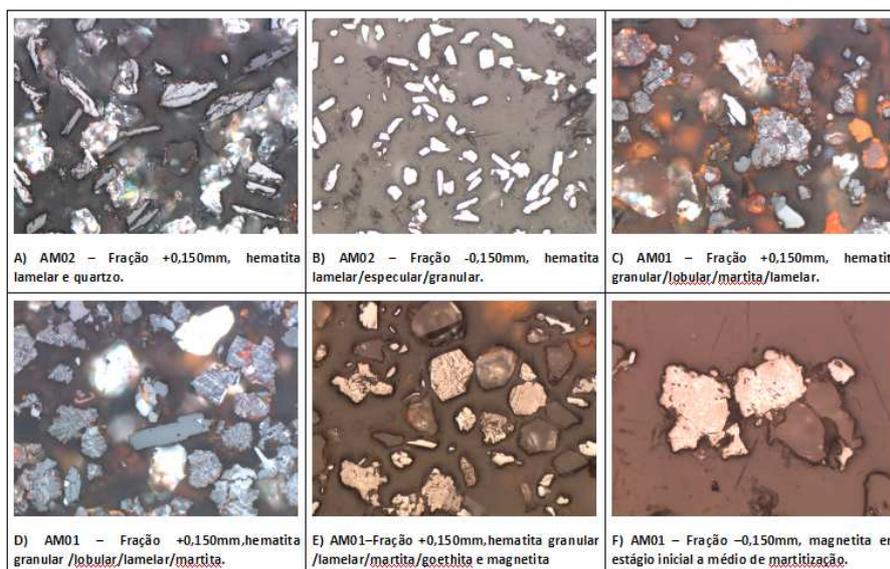


Figura 5: Fotomicrografias das características mineralógicas, marcantes, das amostras AM01 e AM02.

2.2 Rota 01 - Concentração Magnética e Flotação

Para o estudo em questão optou-se por avaliar o desempenho desses finos de itabirito frente as técnicas de concentração por flotação e concentração magnética. Os testes de concentração magnética foram realizados com a fração granulométrica $-1,0+0,15$ mm em concentrador magnético de alta *intensidade* WHIMS - Modelo Minimag G340 da Gaustec. Os testes de concentração por flotação foram realizados com a fração granulométrica $-0,15+0,012$ mm (deslamada) em célula de flotação em bancada modelo 1000-EEPN da CDC. A seguir (Figura 6) são apresentados o fluxograma de processo e os parâmetros adotados na realização dos testes de concentração.

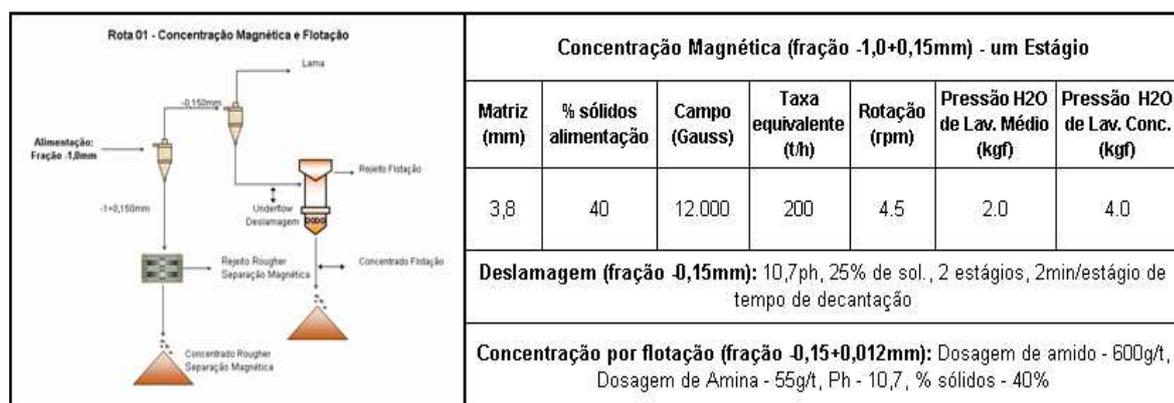


Figura 6: Fluxograma de processo e parâmetros utilizados na realização dos testes - Rota 01.

Os resultados obtidos com os testes de concentração por flotação e concentração magnética estão demonstrados na Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos com testes de concentração - Rota 01 - AM01 e AM02

Fração $-1,0 +0,105$ mm

#	Alimentação da Sep. Mag. (Rougher)		Teste Separação Magnética Rougher - Parâmetros e Resultados				
	Fe	SiO ₂	Matriz (mm)	Campo (Gauss)	% Conc.	Fe conc. (%)	SiO conc. (%)
AM 01	34,38	47,71	3,8	7.000	21,07	66,12	3,53
AM 02	37,19	44,90	3,8	12.000	24,83	68,24	1,56

Fração $-0,150$ mm

#	Alimentação da Flotação (RO/CL)		Teste Flotação Rougher/Cleaner - Resultados				
	Fe	SiO ₂	% Deslam.	% Lama	% Conc.	Fe conc. (%)	SiO conc. (%)
AM 01	44,17	35,26	91,19	8,81	56,10	68,05	0,52
AM 02	46,86	31,34	95,25	4,75	57,18	68,19	1,25

Avaliando os parâmetros de qualidade do concentrado e rendimento mássico observa-se, pelos resultados, um melhor desempenho de processo nos ensaios de flotação para a amostra AM01. Já para os ensaios de concentração magnética houve melhor desempenho para a amostra AM02.

2.3 Rota 02 - Concentração Magnética (rougher/cleaner)

Nessa rota optou-se por avaliar o desempenho desses finos frente a técnica de concentração magnética. Os ensaios de concentração magnética foram realizados em concentrador magnético de alta intensidade WHIMS da Gaustec - Modelo Minimag G340. Na Figura 7, são apresentados o fluxograma de processo e os parâmetros adotados na realização dos ensaios de concentração.



Figura 7: Fluxograma de processo e parâmetros utilizados na realização dos testes - Rota 02.

Os resultados obtidos com os ensaios de concentração magnética nos estágios rougher e cleaner estão demonstrados na tabela abaixo:

Tabela 3: Resultados obtidos com testes de concentração - Rota 02 - AM01 e AM02

Fração -1,0mm

#	Alimentação da Sep. Mag. (Rougher)		Teste Separação Magnética Rougher - Parâmetros e Resultados				
	Fe	SiO ₂	Matriz (mm)	Campo (Gauss)	% Conc.	Fe conc. (%)	SiO conc. (%)
AM 01	44,05	33,64	2,5	9.000	52,68	64,21	5,94
AM 02	45,05	33,67	2,5	12.000	56,33	67,03	3,03

Fração -1,0mm

#	Alimentação da Sep. Mag. (Cleaner)		Teste Separação Magnética Cleaner - Parâmetros e Resultados				
	Fe	SiO ₂	Matriz (mm)	Campo (Gauss)	% Conc.	Fe conc. (%)	SiO conc. (%)
AM 01	64,21	5,94	2,5	7.000	79,98	66,15	3,68
AM 02	67,03	3,03	2,5	12.000	93,14	68,9	0,75

Repetindo a tendência observada na concentração magnética da fração granulométrica -1,0+0,15 mm da Rota 1 anteriormente descrita, agora com mais destaque, os resultados mostram um melhor desempenho do processo para a amostra 02, determinado pela melhor qualidade do concentrado final obtido e maior rendimento em massa. A diferença de rendimento em massa, menor para a amostra 01, está relacionada principalmente a diminuição do campo de 12.000 G para 9.000 G no teste rougher e 12.000 G para 7.000 G no teste cleaner. Ajustes de campos inferiores foram necessários para operação com a amostra 01 devido a ocorrência de problemas operacionais de entupimento de matriz, considerando que produtividade máxima do equipamento era uma premissa e, portanto, foi mantida a t/h alimentada.

O alto teor de sílica para o concentrado cleaner da amostra AM01, foi determinado pelo arraste de cristais de quartzo para junto dos minerais magnéticos, durante a concentração magnética. Após a análise mineralógica do concentrado foi constatada a presença de inclusões de hematita/magnetita na maioria das partículas de quartzo (Figura 8).

Outros fatores que podem ter influenciado nos resultados são:

- a diferença de forma das partículas dos minerais dos óxidos de ferro, onde a AM01 apresenta maior percentual de partículas granulares e a AM02 apresenta maior percentual de partículas tabulares. Partículas tabulares tendem a formar tortas menos espessas na matriz, propiciando assim uma

probabilidade maior de arraste das partículas de quartzo para o rejeito (menor risco de empacotamento acidental); e

- a diferença de susceptibilidade magnética desse minérios, que está diretamente relacionada a composição mineralógica de cada amostra.

Segundo o catálogo Eriez Magnetics⁽⁷⁾ que indica a faixa do campo magnético onde os minerais podem ser separados através do processo de separação magnética, para a amostra AM02 seria necessária uma força de 1,2 T e para a amostra AM01 uma força de 0,77 T. Essa diferença significativa na amostra 01 pode indicar uma maior chance de ocorrer arraste do quartzo para o concentrado, e também das partículas de quartzo que possuem inclusões de hematita/magnetita, conforme constatado na análise mineralógica dos seus concentrados magnéticos.

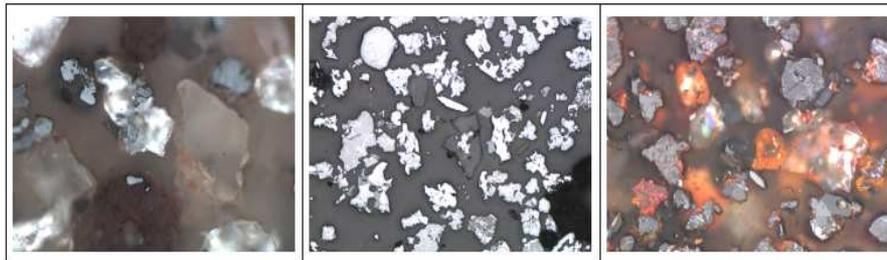


Figura 8: Fotomicrografias, de concentrado magnético, mostrando inclusões de hematita/magnetita em cristais de quartzo.

3 APLICAÇÃO DE PROCESSO: ROTA 01 X ROTA 02

Através da compilação dos resultados dos ensaios de concentração magnética e concentração por flotação pode-se comparar de forma clara o desempenho da AM01 frente as duas rotas de processo estudadas. Nota-se um melhor desempenho da Rota 01, relacionado ao melhor desempenho da flotação para este tipo de minério (Figura 9).

MINÉRIO DE FERRO SUPERGÊNICO - AM 01

Rota 01				Rota 02			
Rec. Massa	% Conc	Fe	Si	Rec. Massa	% Conc	Fe	Si
52,20	52,77	67,98	0,63	41,67	42,13	66,15	3,68

Figura 9: Comparativo entre os resultados de rendimento em massa obtidos na Rota 01 e Rota 02 – AM01. A qualidade do concentrado Rota 1 apresentada acima é o resultado da composição do concentrado magnético da fração granulométrica -1,0+0,15mm mais o concentrado de flotação da fração -0,15+0,012mm (deslamada).

Para a amostra AM02, ambos as rotas atenderam em desempenho, sendo que a Rota 2 apresentou melhor resultado para a qualidade final do concentrado, enquanto a Rota 1 apresentou melhor rendimento em massa.

MINÉRIO DE FERRO METASSOMÁTICO - AM 02

Rota 01				Rota 02			
Rec. Massa	% Conc	Fe	Si	Rec. Massa	% Conc	Fe	Si
53,52	54,11	68,19	1,26	51,89	52,47	68,90	0,75

Figura 10: Comparativo entre os resultados de rendimento em massa obtidos na Rota 01 e Rota 02 – AM02. a qualidade do concentrado Rota 1 apresentada acima é o resultado da composição do concentrado magnético da fração granulométrica -1,0+0,15mm mais o concentrado de flotação da fração -0,15+0,012mm (deslamada).

4 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos para as duas amostras estudadas, que apresentam gênese e mineralogia diferenciada, sugerem para os depósitos de minério de ferro de mesma característica, fluxogramas de processo misto entre concentração magnética rougher e concentração por flotação cleaner na fração $-0,15\text{mm}$, o que permitiria grande flexibilidade operacional frente às variações do minério, otimizações de processo como, por exemplo, a não geração de lamas para rejeito e principalmente maior atendimento da qualidade de produtos. A figura abaixo apresenta o fluxograma de processo otimizado para tratamento desses finos naturais:

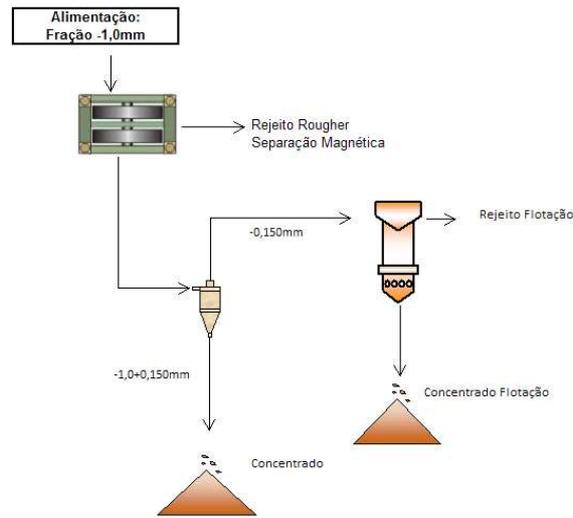


Figura 11: Fluxograma proposto para tratamento de Minérios Especularíticos e Minérios Especularíticos/Martíticos/Goethíticos.

A experiência de caracterização tecnológica de minérios para o beneficiamento, na CSN, mostra que a concentração magnética como etapa de concentração única deve ser aplicada em casos onde dificilmente outros processos obteriam resultados - tipo na recuperação de ferro nas lamas ricas de minério de ferro. Ou então, quando se tenha um profundo conhecimento dos minérios presentes na mina - incluindo conhecimento mineralógico, e que esses estudos apontem para a ocorrência de minérios de ferro predominantemente do tipo especularítico e cujos cristais de quartzo não apresentem inclusões de hematitas/magnetitas em sua reserva mineral.

Agradecimentos

A equipe agradece a todos que colaboraram de alguma forma na elaboração deste trabalho, mas em especial:

Aos técnicos do laboratório de tratamento de minérios da Gerência de Desenvolvimento de Processos e Produtos - Mineração Casa de Pedra, pela convivência amigável e colaboração na parte experimental;

A Companhia Nacional Siderúrgica (CSN) pelo apoio e permissão de utilização e divulgação destes dados e resultados.

REFERÊNCIAS

- 1 MORRIS, R. C. (1985). Genesis of iron ore in banded iron formation by supergene and supergene metamorphic processes -a conceptual model. In Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits, Vol. 13, Wolf, K. H. (ed.). Amsterdam, Elsevier, 73-235.
- 2 Alkmim, F.F.; Trzaskos, B; Zavaglia, G. Geologia estrutural, mineralogia e texturas dos minérios de ferro da mina de Casa de Pedra – CSN: Resultados Preliminares. In: Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro, 02., 1999, Ouro Preto: ABM, 1999. p.371-381.
- 3 NETO, S.N.A. & NETO, S.P.P. & FREITAS, C.L.L. & OLIVEIRA, L.D. & FUJIKAWA, H.L. (2002). Influência das características dos minérios de ferro sobre os índices de desempenho da sinterização. In. XXXII Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias Primas., 32., 2002, Vitória: ABM, 2002. p. 300-312.
- 4 SCHNEIDER, C. L., CALIXTO, M. Desenvolvimento de um modelo para Separadores Magnéticos tipo Jones. Rio de Janeiro: CETEM, 2006.
- 5 PERES, A. E. C., SALUM, M. J. G. (2004) Métodos de concentração. In: Apostila de Tratamento de Minérios. Departamento de Engenharia de Minas. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, p.109-149.
- 6 DORR II, J. V. N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. In: Geological Survey Professional Paper, 641-A. (1969), Washington: United States Government Printing Office.
- 7 LUZ, A. B., SAMPAIO, J. A., ALMEIDA, S. L. M. (2005) Tratamento de Minérios - 4ª. Edição Revisada, CETEM - RJ, p.305-335.