

DESEMPENHO NO PROCESSAMENTO MINERAL DE DOIS TIPOS DE ITABIRITOS DA SERRA DO SAPO*

Henrique Dias Gatti Turrer¹
Douglas Batista Mazzinghy¹
Carlos Magno Nascimento²
Jose Francisco Cabello Russo³
Geraldo Sarquis Dias⁴

Resumo

O projeto Minas-Rio da Anglo American iniciou suas operações em agosto de 2014 e tem capacidade para produção de 26,5 milhões de toneladas naturais por ano de *pellet feed*. O sistema contempla a exploração e concentração da jazida localizada no município de Conceição do Mato Dentro (MG), bombeamento do concentrado por 529 km até o município de São João da Barra (RJ), onde ocorrem a filtragem, estocagem e embarque do produto final através de navios. Desde a concepção do projeto até os dias de hoje, diversos estudos foram realizados objetivando-se entender o comportamento das diferentes litologias de minérios nas etapas de processamento mineral. Desses, os mais relevantes focaram nas duas principais litologias do depósito: o itabirito resultante da intemperização da matriz (IF) e o próprio saprólito (IT). Os principais pontos de investigação foram o comportamento dos mesmos perante as etapas de cominuição e concentração. O objetivo desse trabalho é apresentar uma revisão bibliográfica das diversas comparações de desempenho perante a cominuição dessas duas litologias. Além disso, são apresentados e discutidos resultados inéditos do desempenho na flotação quando concentrado separadamente ou como uma mistura. Os resultados disponíveis na literatura mostram que, ao contrário do que se imagina, o itabirito natural não apresenta consumo energético significativamente maior nas etapas de cominuição. Os testes de flotação, por sua vez, mostraram que o desempenho é diferenciado, em função do grau de liberação dos mesmos.

Palavras-chave: Cominuição; Concentração; Itabirito; *Pellet feed*; Minas-Rio; Serra do Sapo.

MINERAL PROCESSING PERFORMANCE OF TWO ITABIRITES TYPES FROM SERRA DO SAPO

Abstract

The Minas Rio project from Anglo American started its operation in August 2014 and has a production capacity equal to 26.5 million tons of natural pellet feed per year. The system comprehends the ore exploitation and concentration in Conceição do Mato Dentro (MG), concentrate pumping through 529 km to São João da Barra town (RJ), where the concentrate is filtered, stocked and loaded in client's vessels. Since the project design to now, many studies were performed aiming to understand the different lithologies behaviors during mineral processing. The most significant focused on two main lithologies: the itabirite resulted from matrix's weathering (IF) and the saprolite (IT). The main investigation points were their performance during comminution and concentration. This work aims to present a bibliographic review of many evaluation performed to compare their comminution performance. Furthermore, the unpublished results regarding flotation of these lithologies, alone and in a mixture are shown. The references proved that, contrary to what is foreseen, the primary itabirite does not present significantly higher specific energy consumption in the comminution stages. In the flotation tests, on the other hand, the performance was different, as a function of liberation degree.

Keywords: Comminution; Concentration; Itabirite; Pellet feed; Minas-Rio; Serra do Sapo.

¹ Doutor em Eng. Metalúrgica, Materiais e de Minas, Eng. Especialista, Desenvolvimento de Processos e Produtos, Anglo American, Belo Horizonte, MG, Brasil.

² Engenheiro de Produção, Supervisor, Desenvolvimento de Processos e Produtos, Anglo American, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil.

³ Pós-graduado em Eng. Ambiental, Gerente, Desenvolvimento de Processos e Produtos, Anglo American, Belo Horizonte, MG, Brasil.

⁴ Geólogo, Gerente, Geologia, Anglo American, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil.

1 INTRODUÇÃO

O minério de ferro processado no Minas-Rio, unidade de negócio da Anglo American, possui capacidade para produção de 26,5 milhões de toneladas naturais por ano de *pellet feed* e é extraído da jazida da Serra do Sapo em Conceição do Mato Dentro, MG. O processamento contempla as etapas de cominuição, por britadores de mandíbulas e grelhas, britadores cônicos e peneiras, prensas de rolos, moinhos de bolas e hidrociclones, seguido por deslamagem, flotação, remoagem em moinhos verticais (para adequação da granulometria de transporte), espessamento, bombeamento por 529 km de mineroduto e separação sólido-liquido para embarque, conforme Figura 1.

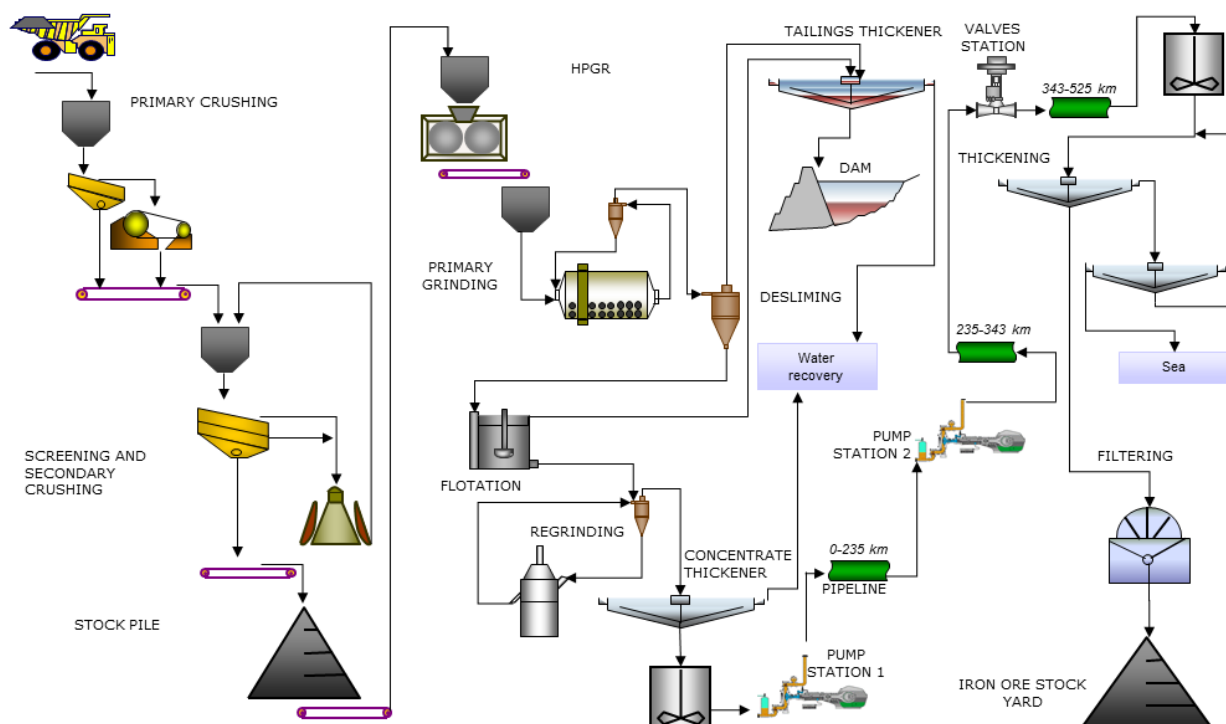


Figura 1. Fluxograma do processamento mineral no Minas-Rio.

O total de recursos medidos e indicados do depósito é de quase 4,8 milhões de toneladas. O procedimento para descrição do minério se baseia, inicialmente, na descrição dos testemunhos de furos de sonda pelo geólogo e, em seguida, na composição química do mesmo. Existem mais de 10 tipos de minérios. Contudo, na prática, esses se resumem a três grupos principais, sendo dois (IF e ISF) produtos da alteração do terceiro (IT). Correspondem a, respectivamente, 24, 14 e 61% do recurso e estão ilustrados na Figura 2.

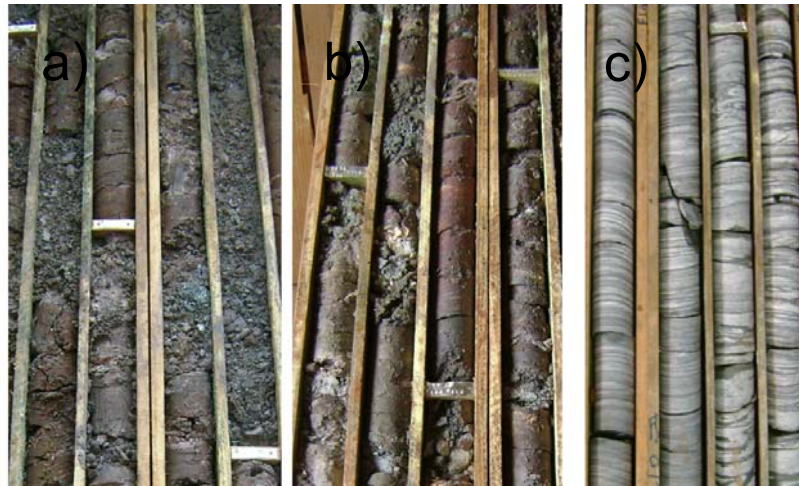


Figura 2. Testemunhos de sondagem de minérios da Serra do Sapo: a) itabirito friável, IF; b) itabirito semi friável, ISF; c) itabirito “natural”; IT.

Comumente, os minérios alterados se situam nas camadas superficiais dos depósitos. Os mecanismos de formação desses depósitos estão descritos em diversos trabalhos [1-3]. Por isso, é natural que, com o passar do tempo e escassez das reservas, a participação da rocha fresca na alimentação da planta de processamento aumente. Prova disso é o grande número de trabalhos recentemente publicados no Brasil sobre o tratamento desse tipo de minério de ferro [4-9].

Da mesma forma, inúmeras avaliações [10-13] foram realizadas nos últimos anos para comparar e entender o comportamento dos minérios da Serra do Sapo.

A resistência à compressão de diversas amostras de itabirito inalterado (IT) se mostrou ligeiramente superior ao do itabirito semi-friável (ISF). Enquanto a resistência dos primeiros foi em média 114 Mpa, a resistência das amostras do minério alterado (ISF) foi em média de 26 Mpa. Amostras de friável (IF) não foram testadas devido a natureza pulverulenta dos mesmos [10].

Testes com prensas de rolos (HPGR) em escala semi-industrial e moagem de bancada com dois minérios, IF e IT, mostraram que a cominuição do HPGR não resultava em ganhos significativos de consumo energético do friável na moagem. Por outro lado, a diminuição do consumo energético na moagem foi de 13%, quando a prensagem foi realizada no material inalterado (IT) [11].

Itabiritos com baixo grau de intemperismo comumente apresentam menor grau de liberação e, por isso, são chamados de compactos: adjetivo usado para se referir a elementos, partes, unidades ou segmentos de composição que estão firmemente unidos entre si [14]. Muitos desses minérios também apresentam alto consumo energético na moagem. Por isso, o termo compacto é comumente, e equivocadamente, associado à resistência a cominuição.

Testes realizados com centenas de amostras de minério da Serra do Sapo foram realizados para investigar essa suposição. Diversos procedimentos de testes em laboratório para determinação do consumo energético foram usados e, em todos os métodos, o itabirito alterado (IF) apresentou menor consumo energético específico na moagem primária do que a rocha sã (IT), entre 10 e 20%. A caracterização desses minérios mostrou que o quartzo presente no minério friável apresenta partículas com maior tamanho do que no outro itabirito [12].

A determinação da taxa de quebra (S_i) e a distribuição de quebra (B_{ij}) de duas amostras representativas com diferentes níveis de alteração mostraram que as mesmas exibiam comportamentos distintos na moagem. Enquanto a amostra de

rocha sã (IT) apresentava uma maior taxa de quebra, a amostra da rocha intemperizada (IF) exibiu uma maior distribuição de quebra. O IT também apresentou uma distribuição granulométrica mais grosseira que o IF. Contudo, o BWI operacional para atingir um P_{80} próximo da meta de projeto, 118 μm , foi muito maior para o IF [13].

Assim como a cominuição, a concentração também é objeto de estudos conduzidos com minérios da Serra do Sapo. Este trabalho tem por objetivo apresentar alguns resultados do desempenho desses itabiritos da Serra do Sapo diante do processo de flotação catiônica reversa, mostrando as implicações práticas de seu processamento na planta de processamento mineral do Minas-Rio.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os minérios testados são oriundos de furos de sondagem ou amostragem da alimentação da planta. As composições das amostras foram planejadas de forma a obter minérios representativos do ROM.

Os equipamentos estão localizados nos laboratórios da Anglo American e, por isso, foram feitos segundo procedimentos internos. Detalhes sobre os testes de bancada em laboratório para preparação do material para a flotação, análise química, peneiramentos [15] e testes em planta piloto [16] são descritos em outros trabalhos já publicados.

Os testes de flotação foram realizados em cuba da CDC de 4,5 L, com percentuais de sólidos no condicionamento e na flotação em 60 e 40%, respectivamente, amido Flokit 415 (500 g/t) gelatinizado com soda na razão de 5:1 e amina EDAC da Clariant à 1% condicionados por 5 e 1 minutos, respectivamente, agitação controlada em 1.200 e 1.500 rpm no condicionamento e na flotação, respectivamente, pH de flotação controlado em 10,5 e aeração ajustada para 2 LPM. O estudo mineralógico foi realizado com microscópio ótico Olympus BX51TRF ou software MLA (Mineral Liberation Analyser) acoplado a um microscópio eletrônico de varredura e sistema de microanálise por EDS.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes de flotação em bancada com amostras de itabirito inalterado (IT) cominuído e deslamado resultaram em maiores teores de sílica no concentrado e menores recuperações metalúrgicas do que os comumente obtidos com o itabirito friável (IF). Valores comumente apresentados pelo IF foram apresentados por Turrer *et al.* [17]. A média dos resultados de sílica no concentrado e recuperação metálica na flotação dessas amostras foi igual à, respectivamente, 0,88% e 81,4%. Na Figura 3 são apresentados os resultados obtidos com minério inalterado (IT) em diferentes granulometrias e dosagens de aminas.

Observa-se que a redução da granulometria tem um efeito significativo no desempenho da flotação. Além disso, a utilização de maiores dosagens de amina propiciou uma melhora do processo. O melhor índice de seletividade, 20,8, foi obtido nessas condições: maior dosagem e menor granulometria.

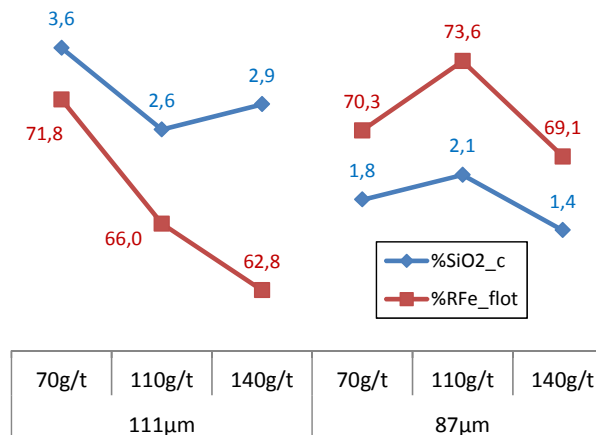


Figura 3. Comportamento do itabirito (IT) na flotação em função da dosagem de amina e do D80 de alimentação: teor de sílica no concentrado (%SiO₂_c) e recuperação metálica na flotação (%RFe).

A cinética de flotação do IT, Figura 4, mostrou que a flotação do material de menor granulometria apresentou uma maior constante cinética. A cinética do quartzo alterou de 0,86 para 1,05 min⁻¹ (+22%) enquanto a hematita foi menos impactada, de 0,97 para 1,04 min⁻¹ (+8%). Contudo, a diminuição expressiva da taxa da cinética de flotação do quartzo ainda com poucos minutos de flotação indica que grandes tempos de flotação não são necessários para esse minério.

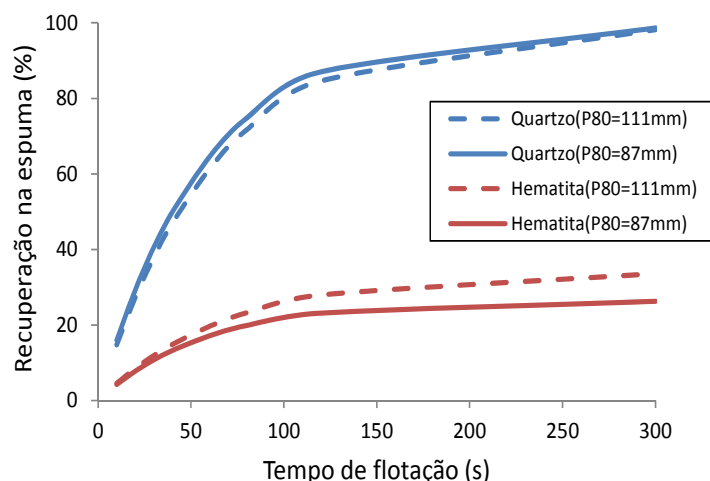


Figura 4. Cinética de flotação do IT com 110 g/t de amina.

Testes contínuos e em circuito piloto, simulando o processo produtivo industrial do Minas-Rio, foram realizados para comprovar os desempenhos desses dois tipos de minérios. Os resultados, Figura 5, mostraram que o comportamento do IT era semelhante ao do IF e ISF, mas que apresentava algumas diferenças importantes. Foi observado que o baixo teor de ferro do IT resultou em uma menor recuperação em massa. Contudo, o patamar de recuperação foi ligeiramente superior ao esperado, quando compara-se o seu desempenho com a curva de tendência do IF. Esse aumento relativo na recuperação foi ocasionado devido a uma maior recuperação na deslamagem (+1,1%) e de sílica no concentrado (2,4%).

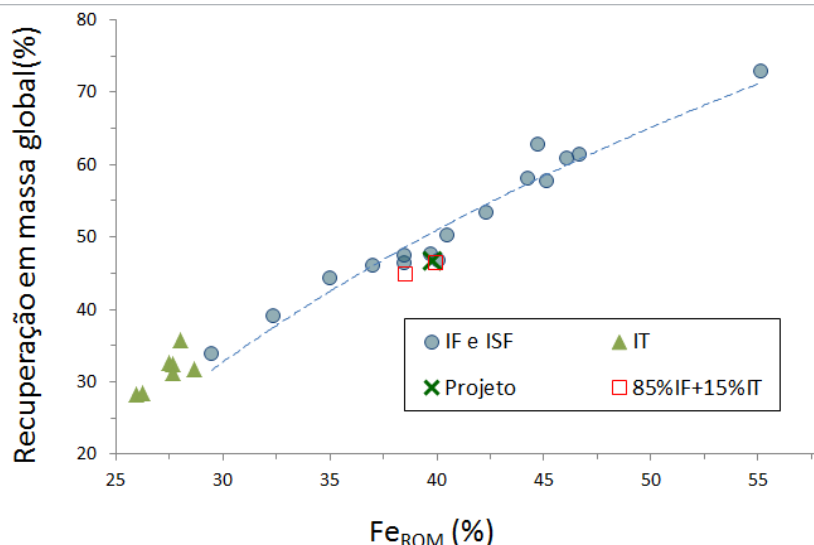


Figura 5. Desempenho de diferentes amostras da Serra do Sapo em testes de escala piloto.

Análises em microscópio ótico e MLA mostraram que grande parte do IT não está totalmente liberado nas granulometrias testadas, o que explicaria os maiores teores de quartzo no concentrado.

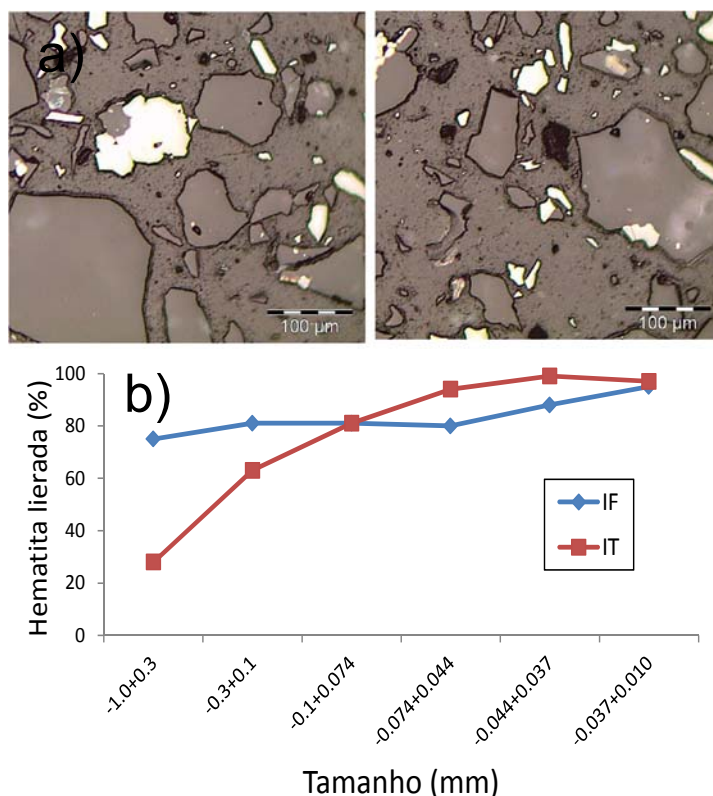


Figura 6. Avaliação microscópica de partículas de IT: imagens de microscópio ótico (a) e resultados do MLA (b).

Apesar da diferença de comportamento durante o processamento desses dois materiais, faz-se necessário a alimentação de proporções variadas de IT na planta, devido a aspectos relativos à geologia da jazida e de operação de mina. Objetivando-se avaliar essa questão, amostras com proporções variadas de IT e IF foram compostas, cominuídas, deslamadas e flotadas em bancada.

Os resultados, Figura 7, mostraram uma tendência de elevação do teor de sílica no concentrado com o percentual de IT. Essa tendência foi comprovada através de testes estatísticos de análise de variância, que resultou num p-valor de 0,015 para o efeito do fator na resposta. Além disso, o teste de Turkey confirmou que não existia evidência estatística de diferença nos resultados de sílica no concentrado até 15% de participação de IT, com intervalo de confiança de 95%.

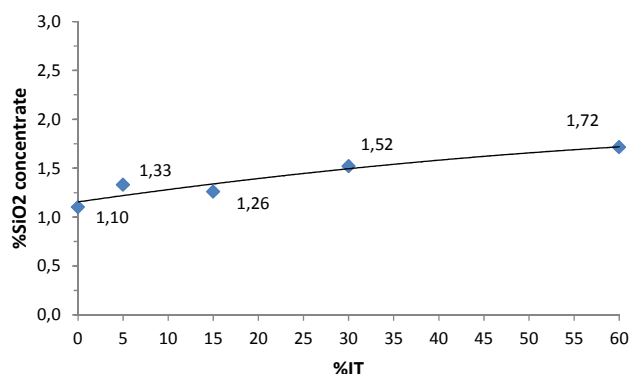


Figura 7. Efeito do percentual de itabirito inalterado (IT) no teor de sílica no concentrado.

Com base nos resultados da Figura 7, uma nova amostra com 15% de IT e 85% de IF foi composta. Essa amostra foi submetida a moagem em diferentes tempos, resultando em materiais com diferentes granulometrias. O grau de liberação da amostra, medido por microscópio eletrônico mostrou que essa variável não se alterava em função do P_{80} da amostra. Também foi observado que a morfologia da partícula, medida pela relação do aspecto diferencial, também não teve efeito do tempo de moagem.

Foram realizados testes de deslamagem e flotação somente com material que apresentou P_{80} menor que 124 μm , pois as demais amostras apresentaram um percentual de quartzo com granulometria significativamente maior.

Os resultados de flotação, Figura 7b, indicaram a existência de uma distribuição granulométrica ótima para a flotação. Provavelmente o maior teor de sílica no concentrado da amostra com $P_{80} = 124 \mu\text{m}$ se deve a existência de partículas de sílica com diâmetro elevado, enquanto a menor recuperação da amostra com $P_{80} = 110 \mu\text{m}$ deve estar associada ao arraste de partículas de hematita com pequeno diâmetro.

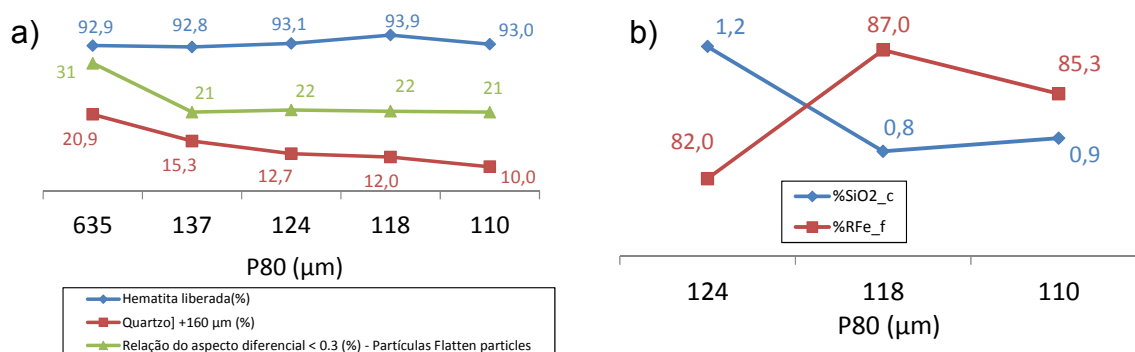


Figura 8. Efeito do tempo de moagem: a) no grau de liberação mineral, morfologia e quantidade de sílica grossa; b) desempenho na flotação.

Por fim foram realizados dois testes piloto com minério composto por 15% de IT e 85% de IF. O desempenho, Figura 4, confirmou os resultados em bancada, exibidos nas Figuras 7 e 8. O teor médio de sílica no concentrado foi de 1,3%, ou seja, similar aos obtidos nos testes com IF e ISF. As recuperações foram ligeiramente inferiores à meta devido a uma sobre모agem ($P_{80} = 80 \mu\text{m}$), ocasionada por descontrole operacional, e consequente geração de lamas. A hipótese de que essa sobre모agem poderia estar liberando as partículas mistas e favorecendo a obtenção do teor de sílica foi descartada com base nos resultados, já discutidos, da Figura 8.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o itabirito inalterado (IT) apresenta um desempenho na flotação distinto do friável (IF) devido aos seus respectivos graus de liberação após a moagem primária. A mistura dos dois é possível sem afetar significativamente o teor de sílica no concentrado da flotação, desde que a proporção de IT seja inferior a 15%.

REFERÊNCIAS

- 1 GUILD, P.W. (1957) Geology and mineral resources of the Congonhas District, Minas Gerais, Brazil. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap.290: 90p.
- 2 DORR, J.V.N. (1959) Esboço geológico do Quadrilátero Ferrífero de MG. In: DNPM-USGS. Publicação Especial 1.
- 3 BIONDI, J.C. (2003) Processos metalogenéticos e os depósitos minerais brasileiros. São Paulo: Editora Oficina de Textos. 528p.
- 4 SILVA, M.L.F.A. (2009). Desenvolvimento de processos para o aproveitamento de itabiritos friáveis de baixo teor e dos itabiritos compactos – o ponto de vista da Engenharia de Projetos. In: 13º Congresso Brasileiro de Mineração, Ibram, 20p, <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00000553.pdf>> acessado em 17/7/2012.
- 5 PEREIRA, A.S.G.; MEIJON, P.H.; CASTRO, E.B.; JUNIOR, H.D.; FOGGIATTO, B. (2010) Caracterização dos itabiritos compactos da Serra Azul quanto à cominuição. In: Anais do 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 6p.
- 6 VASCONCELOS, J.A; BRANDÃO, P.R.G.; LEMOS, L.N. (2010) Caracterização mineralógica e tecnológica de itabirito compacto da mina Lagoa das Flores, MG. In: Anais do 40º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 11º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 11p.
- 7 SOUZA, N. (2010) Análise crítica de rotas de processamento de minério de ferro itabiríticos. Dissertação de mestrado apresentada a Escola Politécnica da UFRJ, Rio de Janeiro, 107 p.
- 8 PEREIRA, A.S.G.; MEIJON, P.H.; FELIPE, E.A.; JUNIOR, H.D.; FOGGIATTO, B. (2011) Campanha piloto de moagem dos itabiritos compactos da Serra Azul. In: Anais do 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 6p.
- 9 SILVA, K.C.; PAULA, N.N.; REIS, M.H.; FERREIRA, R.F (2011) Fechamento de circuitos de moagem com peneira de alta frequência. In: Anais do 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, 9p.
- 10 VARELA, J.J.; RAAZ, V.; MAZZINGHY, D.B.; RUSSO, J.F.C. (2014) Aplicação do teste de carga pontual modificado com ênfase à seleção de britadores para minério de ferro. Submetido XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, 6p.

- 11 RUSSO, J.F.C; MAZZINGHY, D.B.; TURRER, H.D.G. (2013) Testes de prensa de rolos em escala piloto com itabirito friável e compacto. In: Anais do 68º Congresso da ABM. 9p.
- 12 TURRER, H.D.G.; SAWASATO, E.Y.; GUIMARÃES, F.R.; MAGALHÃES, C.R.; DIAS, G.S.; RUSSO, J.F.C; PIMENTEL, D.A.; MAZZINGHY, D.B. (2012) Avaliação do consumo energético na moagem de dois diferentes tipos litológicos do depósito da Serra do Sapo. In: Anais do 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 9p.
- 13 MAZZINGHY, D.B.; TURRER, H.D.G.; RUSSO, J.F.C; TAVARES, L.M. (2014) Influence of the mineralogical structure in grinding specific energy consumption of itabirite iron ores. In: Anais do Comminution 2014, Cape Town, África do Sul, 9p.
- 14 HOUAISS, A.; VILLAR, M.S. (2001) Dicionário Houaiss da língua portuguesa. Objetiva, Rio de Janeiro. p.772.
- 15 TURRER, H.D.G.; MENEZES, K.B.; MAGALHÃES, C.R.; MAZZINGHY, D.B. (2013) Comportamento e efeito do TiO_2 no tratamento do minério de ferro. In: Anais do XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa & VIII Meeting of the Southern Hemisphere on Mineral Technology, 9p.,
- 16 TURRER, H.D.G.; MENEZES, K.B.; GONZAGA, F.H.P.; SILVA, J.C.; ALMEIDA, J.A.; MAGALHÃES, C.R.; RUSSO, J.F.C; PIMENTEL, D.A.; MAZZINGHY, D.B. (2013) Concentração magnética para recuperação do ferro contido no rejeito da flotação. In: Anais do 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 9p.
- 17 TURRER, H.D.G.; GONZAGA, F.H.P.; SILVA, J.C.; MENEZES, K.B.; ALMEIDA, J.A.; SAWASATO, E.Y.; GUIMARÃES, F.R.; MAGALHÃES, C.R.; DIAS, G.S. (2012) Avaliação geometalúrgica de amostras da Serra do Sapo. In: Anais do 43º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas, 14º Simpósio Brasileiro de Minério de Ferro e 1º Simpósio Brasileiro de Aglomeração de Minério de Ferro, 8p.