

REAVALIACIÓN DE CIRCUITO DE FLOTACIÓN CONVENCIONAL DE MINERIO DE FERRO

¹Airton Antônio Silva, ^{2*}Antônio Eduardo Clark Peres, ³Paulo Sérgio de Oliveira, ⁴João Paulo Melo Silva

¹Samarco Mineração S/A, Mariana, Brasil, airton.silva@samarco.com, ²Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil, aecperes@demet.ufmg.br, *autor correspondente fone 00553134091717 fax 00553134091815, ³Samarco Mineração S/A, Mariana, Brasil, paulo.sergio@samarco.com, ⁴Samarco Mineração S/A, Mariana, Brasil, joao.silva@samarco.com

RESUMO

A Samarco Mineração, desde o início de suas atividades em 1977 na mina de Germano, tem sido pioneira na lavra e beneficiamento de minério de ferro friável e de baixo teor (itabiritos). Atualmente, a queda no teor de Fe associada à maior participação de materiais compactos, semicompactos e com maior presença de contaminantes tem impactado na recuperação do circuito de flotação convencional do concentrador I. A redução da recuperação nessa etapa de flotação motivou a reavaliação do circuito de flotação atual buscando alternativas para reestabelecer a recuperação sem afetar o teor de concentrado final e com menor investimento. Foram realizadas amostragens, caracterização química das amostras e, em seguida, executados ensaios de flotação em bancada e balanço de massas. Os resultados analisados mostraram oportunidades de melhoria do desempenho do circuito. O circuito de flotação antes da modificação era composto das etapas: rougher, cleaner, recleaner e scavenger. Com a reavaliação do circuito, a etapa recleaner foi transformada em cleaner da scavenger. O concentrado scavenger antes da modificação possuía teores de 23%Fe e representava 38% da alimentação nova. Com a modificação do circuito, a carga circulante foi reduzida de 38% para 15% e o teor de ferro subiu para 41,7%, aumentando o tempo de residência. O teor de ferro no rejeito global foi reduzido de 10,92% (média 2013) para 10,2% gerando ganhos de recuperação em massa e metalúrgica.

PALAVRAS-CHAVE: Itabiritos pobres, circuitos de flotação, carga circulante.

ABSTRACT

Samarco Mineração, since the start up in 1977 at Germano's mine, has been a pioneer in mining and beneficiation of low grade friable iron ore (itabirite). Currently the decrease in iron content and increase in contaminants grade, associated with greater participation of compact and semi-compact materials, has impacted the recovery of concentrator I conventional flotation circuit. The recovery reduction in the flotation stage motivated the current flotation circuit reevaluation seeking alternatives to restore the recovery without affecting the final concentrate content with low investment. Sampling and chemical characterization of samples were conducted, followed by laboratory scale flotation tests and mass balance. Analysis of the results indicated opportunities of improving the circuit performance. The stages prior to the flotation circuit change were: rougher, cleaner, recleaner and scavenger. After the circuit reevaluation, the recleaner was transformed into cleaner scavenger. Prior to the modification the iron grade in the scavenger concentrate was 23%, representing 38% of the new feed. With the circuit modification, the circulating load was reduced from 38% to 15% and the iron content increased to 41.7%, resulting in increased residence time. The iron content in the global tailings was decreased from 10.92% (2013 average) to 10.2% representing gains in both mass and metallurgical recoveries.

KEYWORDS: low grade itabirites, flotation circuits, circulating load.

1. INTRODUÇÃO

A flotação é um dos principais processos de concentração, sendo empregado para diversas classes de minerais (sulfetos, óxidos, silicatos, fosfatos etc.), como também para uma variedade de tamanhos de partículas. Estudos anteriores mostraram que a flotação pode ser empregada com sucesso para faixas granulométricas entre 10 e 300µm. A seletividade do processo de flotação torna-se muito baixa fora desses limites granulométricos porque as condições hidrodinâmicas do sistema são incapazes de manter o nível de flotabilidade ideal das partículas (SANTANA, 2012).

Para a seleção de fluxogramas de processamento de minérios de ferro existem alguns fatores importantes a serem considerados e esses podem ser divididos em fatores intrínsecos e extrínsecos ao minério que se deseja processar. Como fatores intrínsecos deve-se considerar: as características físico-químicas do ROM (run of mine), a distribuição granulométrica, o grau de liberação das partículas minerais, os teores químicos e as associações mineralógicas do minério. Como fatores extrínsecos, pode-se considerar: as características físico-químicas desejadas para o seu transporte e destinação nas etapas metalúrgicas subsequentes como, por exemplo, aglomeração (briquetagem, sinterização e pelotização), redução em alto-forno ou processos de redução direta; tais características ditarão os quesitos de qualidades físicas, químicas e metalúrgicas para esses produtos. Adicionalmente, os fatores econômicos envolvidos nas operações de adequação dessa matéria-prima serão avaliados na definição das rotas de processo (SANTANA, 2012).

Para a concentração de minérios de baixos teores de ferro (minérios pobres) são utilizados, em geral, os métodos gravíticos, de concentração magnética e flotação. Segundo VIANA (2004), são inúmeras as possibilidades de combinação de processos unitários e tipos de equipamentos para o beneficiamento de minérios em diferentes sistemas minerais, o que pode levar à suposição de que para um tipo específico de minério existirá uma solução única.

Para a seleção do fluxograma mais adequado, deve-se sempre considerar a combinação de métodos de beneficiamento que possam fornecer a flexibilidade adequada às variações nas características do minério considerado como único, estando a variabilidade associada às diferentes espécies mineralógicas e suas propriedades intrínsecas. Outro aspecto a ser considerado, ao se tratar de fluxogramas, é a interdependência dos diversos processos unitários existentes no circuito industrial. A modificação nas variáveis de processo ou de projeto de um determinado processo pode gerar consequências importantes nos processos subsequentes localizados em outra parte do circuito, limitando ou melhorando o desempenho desse segundo processo. Assim, a condição ótima de operação de um processo específico dentro de um fluxograma, deve ser vista de uma maneira integrada em todo o fluxograma.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Em 19/09/2013 foi realizada amostragem geral do concentrador I e o balanço de massas mostrou oportunidade de reavaliar o circuito de flotação convencional, pois os desempenhos dos estágios cleaner e recleaner estavam comprometendo o desempenho do circuito da flotação. Campanhas de amostragens foram realizadas neste circuito para confirmar os dados. Foram realizadas 16 amostragens e ficou evidente que em alguns momentos a etapa recleaner não era demandada. Notou-se ainda que a carga circulante apresentava teores de ferro próximos de 23% e esse material se juntava à alimentação nova que possui teores de aproximadamente 44% de ferro empobrecendo a mesma.

A metodologia utilizada neste estudo incluiu as seguintes etapas:

- ✓ coleta e preparação das amostras;
- ✓ caracterização química das amostras;
- ✓ execução dos ensaios de flotação em bancada.

Foi coletada uma amostra de minério de ferro na alimentação da etapa de flotação convencional do concentrador 1, no dia

22/01/2014, durante 2h com incrementos a cada 15 minutos. Com esta amostra foram realizados dois testes de flotação em bancada, conforme procedimento a seguir:

Teste 1:

- ✓ flotar alimentação durante 1,5 min e retirar concentrado e rejeito rougher (10 testes para acumular massa);
- ✓ flotar concentrado rougher durante 1,5 min e retirar concentrado e rejeito cleaner (10 testes);
- ✓ flotar concentrado cleaner durante 1,5 min e retirar concentrado e rejeito recleaner (1 teste);
- ✓ juntar os rejeitos rougher e cleaner dos testes anteriores e flotar (3 testes para gerar concentrados e rejeito final);
- ✓ nos testes de flotação scavenger ajustar os percentuais de sólidos da alimentação para 40%;
- ✓ adicionar amido na alimentação das etapas scavenger da rougher e da cleaner até ajustar pH para 10,5;
- ✓ Retirar uma alíquota da alimentação, concentrado e rejeito de cada etapa para análise química.

Teste 2:

- ✓ flotar alimentação durante 1,5 min e retirar concentrado e rejeito rougher (10 testes para acumular massa);
- ✓ flotar concentrado rougher durante 1,5 min e retirar concentrado e rejeito cleaner (10 testes);
- ✓ juntar os rejeitos rougher e cleaner dos testes anteriores e flotar (10 testes para gerar concentrados que irão alimentar a flotação cleaner da scavenger e rejeito final);
- ✓ flotar os concentrados cleaner da scavenger (1 teste gerando concentrado e rejeito final);

- ✓ nos testes de flotação scavenger ajustar os percentuais de sólidos da alimentação para 40%;
- ✓ adicionar amido na alimentação das scavenger da rougher e cleaner até ajustar o pH para 10,5;
- ✓ Retirar uma alíquota da alimentação, concentrado e rejeito de cada etapa para análise química.

Os testes foram realizados em uma célula de flotação WEMCO de 2.400mL, com rotação de 1.300 rpm. O depressor dos minerais de ferro utilizado nos dois testes foi o amido de mandioca gelatinizado com hidróxido de sódio, na proporção mássica 5:1. O coletor empregado nos testes foi uma eteramina. As soluções de depressor, hidróxido de sódio e coletor foram preparadas nas seguintes concentrações: 1%p/v, 3%p/v e 1%p/v, respectivamente. A massa de sólido utilizada nos ensaios de flotação foi de 1,5kg e o percentual de sólido (p/p) 42%. O depressor foi condicionado durante cinco minutos e o coletor condicionado durante um minuto. A análise química foi realizada por dicromatometria, por análise em espectrômetro de emissão ótica com plasma acoplado e por gravimetria. Não foram consideradas cargas circulantes.

Com os resultados foram realizados balanços de massas e simulações do circuito de flotação convencional atual e do circuito de flotação proposto.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O circuito de flotação convencional era composto pelas etapas rougher, cleaner, recleaner e scavenger, conforme mostrado na figura 1.

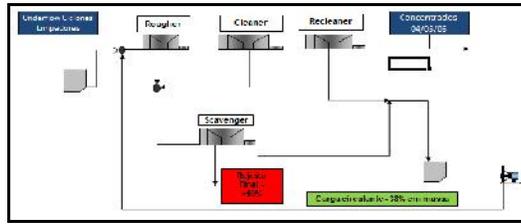


Figura 1: Circuito da flotação convencional antes da modificação.

Os resultados do balanço de massas referente às amostragens industriais e o balanço de massas realizado com os testes de bancada estão apresentados a seguir nas tabelas I e II, respectivamente.

Tabela I – Resultados do balanço de massas de uma das amostragens industriais do circuito de flotação convencional antes da modificação

Tabela de resultados do balanço de massa antes da modificação do circuito					
Etapa de flotação		%Fe	%Silica	Rec.Peso	Rec Metálica
Alimentação	<i>Rougher</i>	42,89	37,43	62,5	87,84
Concentado	<i>Rougher</i>	60,28	10,21		
Rejeito	<i>Rougher</i>	13,9	79,67		
Alimentação	<i>Cleaner</i>	60,28	10,21	88,45	96,14
Concentado	<i>Cleaner</i>	65,52	3,97		
Rejeito	<i>Cleaner</i>	20,15	70,44		
Alimentação	<i>Recleaner</i>	65,52	3,97	94,15	96,23
Concentado	<i>Recleaner</i>	66,97	2,21		
Rejeito	<i>Recleaner</i>	42,16	37,55		
Alimentação	<i>Scavenger</i>	14,2	79,21	30,0	55,71
Concentado	<i>Scavenger</i>	26,37	64,99		
Rejeito	<i>Scavenger</i>	8,98	86,80		
Rejeito e recuperação global		8,98		58,47	91,3

Tabela II – Resultados dos testes de bancada para o circuito de flotação convencional antes da modificação

Tabela de resultados antes da modificação do circuito						
Etapa de flotação		%Fe	%Silica	Rec.Peso	Rec Metálica	Índice de seletividade global
Alimentação Nova		46,45				
Alimentação	<i>Rougher</i>	44,33	33,64	0,615	0,879	10,11
Concentado	<i>Rougher</i>	63,42	6,35			
Rejeito	<i>Rougher</i>	13,9	70,36			
Alimentação	<i>Cleaner</i>	63,42	6,35	0,987	0,996	
Concentado	<i>Cleaner</i>	64,00	5,38			
Rejeito	<i>Cleaner</i>	20,15	62,25			
Alimentação	<i>Recleaner</i>	64,00	5,38	0,968	0,978	
Concentado	<i>Recleaner</i>	64,72	4,48			
Rejeito	<i>Recleaner</i>	42,16	33,71			
Alimentação	<i>Scavenger</i>	14,03	70,19	0,233	0,403	
Concentado	<i>Scavenger</i>	24,26	56,92			
Rejeito	<i>Scavenger</i>	10,92	74,23			
Rejeito e recuperações global		10,92		0,660	0,920	

A tabela I apresenta os resultados da amostragem industrial antes da modificação do circuito. Nota-se que a recuperação em peso da etapa cleaner foi de 88,45%, o teor de ferro no rejeito global foi de 8,98% e o teor de SiO₂ no concentrado cleaner foi de 2,21%. Apesar do teor de ferro no rejeito apresentar-se baixo em alguns momentos, o

concentrado scavenger também possui teor de Fe próximo a 26%, sendo este incompatível com o teor de Fe da alimentação nova.

Na tabela II os resultados do balanço de massas do teste de bancada para o circuito de flotação convencional antes da

modificação mostram recuperação em peso global de 66%, recuperação metálica de 92%. O teor de ferro no rejeito final foi de 10,92%, o teor de sílica no concentrado recleaner foi de 4,48% e o teor de ferro da carga circulante foi de 24%, o que confirma os dados das amostragens industriais.

O fluxograma do circuito proposto está mostrado na figura 2 e os dados do balanço de massas, a partir dos testes de bancada, estão mostrados na tabela III.

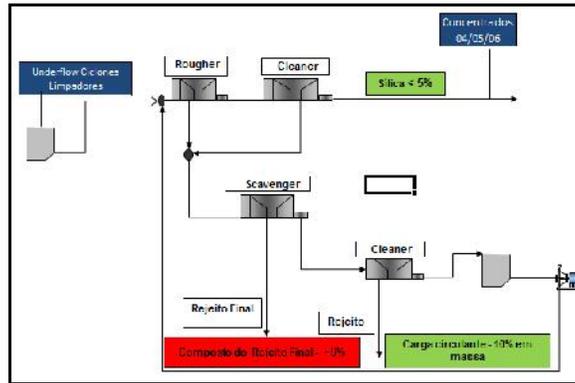


Figura 2: Circuito da flotação convencional após a modificação.

Tabela III – Resultados dos testes de bancada para o circuito de flotação convencional após a modificação do circuito

Tabela de resultados do circuito modificado						
Etapa de flotação		%Fe	%Silica	Rec.Peso	Rec Metálica	Índice de seletividade global
Alimentação Nova		46,45				
Alimentação	<i>Rougher</i>	45,8	31,54	64,16	88,25	10,86
Concentrado	<i>Rougher</i>	63,00	6,95			
Rejeito	<i>Rougher</i>	15,00	68,93			
Alimentação	<i>Cleaner</i>	63,00	6,95	95,0	97,60	
Concentrado	<i>Cleaner</i>	64,72	4,44			
Rejeito	<i>Cleaner</i>	30,00	49,48			
Alimentação	<i>Scavenger</i>	16,00	74,13	53,33	76,62	
Concentrado	<i>Scavenger</i>	23,00	58,56			
Rejeito	<i>Scavenger</i>	8,00	78,01			
Alimentação	<i>Cleaner da Scavenger</i>	23,00	64,12	40,70	69,01	
Concentrado	<i>Cleaner da Scavenger</i>	39,00	37,81			
Rejeito	<i>Cleaner da Scavenger</i>	12,00	72,83			
Rejeito e recuperação global		9,67		0,668	0,930	

De acordo com os resultados do teste de bancada para o circuito proposto, mostrados na tabela III, nota-se que o teor de ferro no rejeito global foi de 9,67% e o teor de SiO₂ no concentrado cleaner foi de 4,44%. A recuperação em massa foi de 66,8% e a metalúrgica de 93,0%. A carga circulante apresentou teor próximo da alimentação nova (39%), o que motivou a modificação em uma das linhas de flotação.

De posse dos valores das amostragens e dos resultados de flotação em laboratório, decidiu-se por modificar uma das linhas de flotação. A proposta foi transformar a célula de flotação recleaner em cleaner da scavenger devido à configuração dos bancos no campo.

Após modificação do circuito da linha 1, foi realizada amostragem industrial no dia 25/02/14 e os dados estão apresentados na tabela IV.

Tabela IV – Resultados dos testes industriais realizados na linha 1 após a modificação do circuito

Tabela de resultados do teste industrial- linha 01 para o circuito modificado						
Etapa de flotação		%Fe	%Silica	Rec.Peso	Rec Metálica	Índice de seletividade global
Alimentação Nova		45,78				
Alimentação	<i>Rougher</i>	45,24	29,71	81,37	94,18	14,47
Concentado	<i>Rougher</i>	52,36	20,47			
Rejeito	<i>Rougher</i>	14,13	70,06			
Alimentação	<i>Cleaner</i>	52,36	20,47	66,24	84,06	
Concentado	<i>Cleaner</i>	66,45	2,20			
Rejeito	<i>Cleaner</i>	24,71	23,65			
Alimentação	<i>Scavenger</i>	20,43	61,89	66,20	85,94	
Concentado	<i>Scavenger</i>	26,52	53,99			
Rejeito	<i>Scavenger</i>	8,50	76,98			
Alimentação	<i>Cleaner da Scavenger</i>	26,52	53,99	43,64	68,63	
Concentado	<i>Cleaner da Scavenger</i>	41,71	34,29			
Rejeito	<i>Cleaner da Scavenger</i>	14,76	69,25			
Rejeito e recuperação global		11,79		62,18	90,30	

Os resultados do teste foram muito promissores: o teor de ferro no rejeito na etapa scavenger foi de 8,5%, na etapa cleaner da scavenger 14,8% compondo um rejeito global de 11,8%; o teor de ferro da carga circulante foi de 41,7%, que é um teor compatível com a alimentação nova do circuito e sua massa foi reduzida de 36% para 15% durante os testes na linha 1. Diante dos resultados obtidos partiu-se para modificação da linha 2.

Após modificação das linhas 1 e 2, notou-se que o circuito dessas linhas demandava menor quantidade de amina em comparação com circuitos não modificados (linhas 3 e 4). As amostragens foram realizadas no período de 20/10/2014 a 25/11/2014. Foram coletados 850 dados horários das linhas 1 e 2 e 874 dados horários das linhas 3 e 4. Os resultados estão mostrados na figura 3.

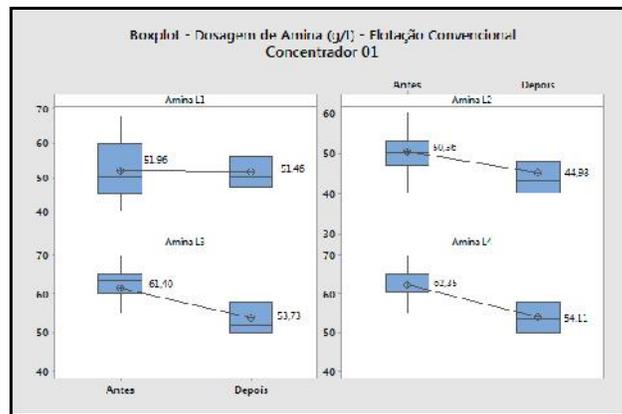


Figura 3: Redução na dosagem de amina (coletor) após a modificação do circuito.

A modificação do circuito foi estendida para as linhas 3 e 4, sendo concluída a modificação na linha 4 no dia 20/10/14. Ajustes na flotação são necessários para obter teores de ferro nos rejeitos globais menores que 10%, pois, o teor de ferro no

concentrado da cleaner da scavenger está compatível com a alimentação nova.

Com as modificações o circuito tornou-se mais eficiente e os ganhos de produção são mostrados na tabela V.

Tabela V – Ganhos de produção após a modificação do circuito

Recuperações	Circuito atual	Circuito modificado	Ganhos (%)
Recuperação em peso	0,660	0,668	0,7078%
Recuperação metálica	0,92	0,93	1,07%
Produção	Circuito atual	Circuito modificado	Ganhos (t)
t/h	1539,47	1557,20	14,39
t/dia	33621,96	34009,26	314,27
t/mês	1008658,69	1020277,84	9428,24
t/ano	12272014,05	12413380,35	114710,27

Os ganhos anuais de produção após a modificação do circuito são, aproximadamente, 114.700 toneladas e são medidos diariamente por meio de balanço de massas utilizando o software bimat.

feita por gravidade, o que motivou o fechamento do circuito dessa etapa de moagem e proporcionou ganhos de produtividade e redução do consumo energético.

4. CONCLUSÕES

Conclui-se que o circuito modificado mantendo a etapa scavenger e transformando a etapa recleaner em cleaner da scavenger trouxe vários ganhos para o processo de flotação convencional como:

- ✓ redução do teor de ferro no rejeito global, com aumento da recuperação em massa e metalúrgica, o que reflete em um ganho de produção anual de 110.000t/ano de concentrado, na redução do custo específico e em ganhos ambientais;
- ✓ redução do consumo de amina, uma vez que esta representa aproximadamente 22% do custo total de insumos utilizados no processo;
- ✓ redução da carga circulante, proporcionando aumento do tempo de residência na flotação e ganho de seletividade, tornando o processo mais eficiente. Frequentemente, o alto percentual de carga circulante com baixo teor de ferro dificultava a obtenção de baixo teor de sílica e forçava o aumento da dosagem de reagentes para obtenção da qualidade. Esse aumento na dosagem gerava perdas de recuperação e aumento dos custos operacionais;
- ✓ a disposição das células de flotação, após a modificação do circuito (concentrado final na etapa cleaner), permitiu que a alimentação dos moinhos secundários fosse

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PROEX CAPES, CNPq e FAPEMIG pelo apoio ao PPGEM e à Samarco por fornecer a infraestrutura para a realização dos trabalhos.

6. REFERÊNCIAS

- SANTANA, P. P (2012) – Flotação Direta de Minério de Ferro Itabirítico. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Minas). Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte.
- SANTIAGO, T. C., ARAUJO, A. C. et al (1993) Minério de ferro. In: Aspectos Tecnológicos Relativos à Preparação de Carga e Operação de Alto-Forno. ABM - Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Belo Horizonte.
- VIANA, P. R. M. (2004) Prática industrial na indústria de minério de ferro. In: Apostila de Tratamento de Minérios. Departamento de Engenharia de Minas. Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, p. 205-225.