

## DESENVOLVIMENTO DE REAGENTES PARA CONTROLE DA ESTABILIDADE DE ESPUMA NUMA USINA DE PRODUÇÃO CONCENTRADO DE MINÉRIO DE FERRO\*

*Henrique Dias Gatti Turrer<sup>1</sup>  
Luís Cláuzio de Rennó Machado<sup>1</sup>  
Carlos Magno Nascimento<sup>1</sup>  
Robson Rodrigues Martins<sup>1</sup>  
Paula Moreira Mol Pereira<sup>1</sup>  
Bolívar Bruno Otony Duarte<sup>1</sup>  
Ricardo Ligorio Soares<sup>1</sup>  
José Francisco Cabello Russo<sup>1</sup>*

### Resumo

O complexo Minas-Rio da Anglo American iniciou suas operações em agosto de 2014. A usina de tratamento produziu, em 2017, cerca de 15 milhões de toneladas secas de concentrado. O minério, explorado no município de Conceição do Mato Dentro (MG), passa pelas etapas de cominuição, classificação, concentração e separação sólido-líquido antes de ser bombeado por 529 km até o município de São João da Barra (RJ), onde é filtrado, estocado e embarcado para exportação. O surgimento de uma grande quantidade de espuma nas caixas que alimentam os ciclones deslamadores resultou na perda por transbordo de uma parcela significativa do minério alimentado. Testes de formação de espuma foram desenvolvidos em laboratório e indicaram reagentes que poderiam ser usados para desestabilizar a espuma. Em seguida, testes de flotação em bancada mostraram que somente em concentrações elevadas e incomuns o mesmo exibia efeito colateral na qualidade do concentrado. Sua utilização industrial resultou na eliminação de perdas por transbordo na deslamagem, aumento da recuperação e da produção de concentrado.

**Palavras-chave:** minério de ferro, concentração, reagentes, flotação.

### REAGENT DEVELOPMENT TO CONTROL FROTH STABILITY IN A IRON ORE CONCENTRATED PRODUCING PLANT

#### Abstract

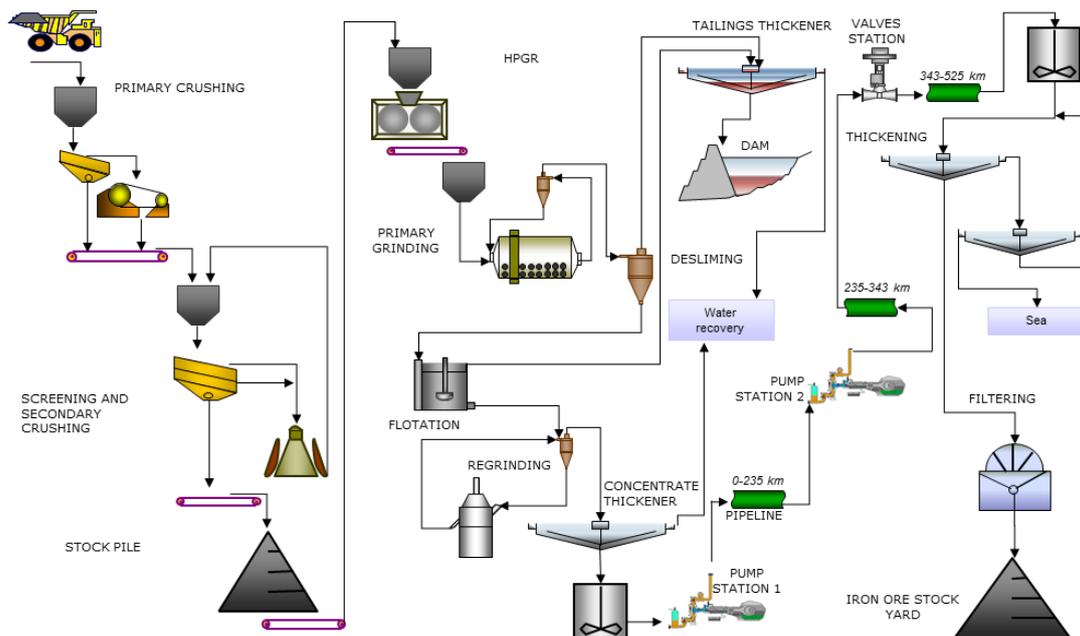
Anglo American's Minas-Rio complex started operation on August 2014. The concentrator produced, at 2017, around 15 M dry tons of concentrate. The ore, exploited at Conceição do Mato Dentro at Minas Gerais State, is submitted to the stages of comminution, classification, concentration and solids-liquid separation before pumping through 529 km to reach São João da Barra at Rio de Janeiro State, where is filtered, stocked and shipped to be exported. A lot of froth has started to be grown at desliming cyclones boxes, which resulted a significant loss of fed ore by drainage. Lab foam formation tests were developed and indicated reagents that might be used to destabilize the froth. Later, bench flotation tests showed that the reagent had a collateral effect in the quality of the concentrate in the flotation only at very high and unusual concentrations. Its industrial utilization resulted in a minimization of losses by overflow in the desliming area, increase at global recovery and concentrate production..

**Keywords:** iron ore, concentration, reagents, flotation, defoamer.

<sup>1</sup> *Anglo American, Bulk Commodities and Other Minerals Brazil, Minas-Rio – Rodovia MG 10, Km 180, Córrego Pereira, Conceição do Mato Dentro, MG, Brasil..*

## 1 INTRODUÇÃO

O complexo industrial do Minas-Rio, operado pela Anlgo American, produziu quase 15 milhões de toneladas de concentrado em 2017. A mina, localizada em Conceição do Mato Dentro, MG, fornece todo o minério processado na usina, que 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 da rota de beneficiamento de minério do Minas-Rio.

A partir da moagem de bolas, o minério é misturado com água para ser processado. A maior parte da água utilizada é recirculada, que é proveniente de dois locais: i) barragem, que recebe o underflow do espessador de lama e rejeitos, além de material de transbordos e drenagens; ii) overflow dos espessadores. O reservatório que recebe a água da barragem também recebe água nova e possui capacidade total para 40.000 m<sup>3</sup>. O reservatório que recebe o overflow dos espessadores fica localizado próximo aos mesmos, figura 2, possui somente 5.500 m<sup>3</sup> e envia água diretamente para os locais de uso.



**Figura 2.** Circuito de reciclagem da água da usina de concentração do Minas-Rio.

Esse baixo tempo de residência da água recirculada faz com que a amina residual presente retorne para o processo antes de se degradar. A interação da amina, reagente usado na flotação como coletor do quartzo e espumante, com os finos em suspensão, naturais ou gerados pelo processo produtivo, causa o aparecimento de um grande volume de espuma com forte estabilidade em alguns pontos.

O minério moído pelos moinhos de bolas e alimentado pelos ciclones classificadores pode ser redirecionado para os moinhos, quando ainda não está na granulometria adequada, e para caixas de alimentação da deslamagem. A deslamagem é realizada em duas etapas. Na primeira, o overflow dos 144 ciclones de 15" são direcionados para caixas que alimentam a próxima etapa de deslamagem. A segunda é composta por 480 ciclones de 4". O underflow dessas duas baterias são direcionados para os tanques de condicionamento da flotação. Nas caixas de alimentação das baterias de decimação da deslamagem a estabilização da espuma é intensificada, devido à grande quantidade de finos. Isso ocasiona uma diminuição de eficiência do bombeamento, resultando em transbordamento de polpa e aumento da ineficiência de classificação dos ciclones deslamadores, que passam a trabalhar numa pressão mais baixa.

A flotação é uma técnica de concentração em desenvolvimento há muitas décadas, usada mundialmente em diversos bens minerais e que necessita da formação de espumas. Por isso, muitos estudos de beneficiamento mineral são direcionados para o entendimento dos fenômenos relacionados à formação de espumas. DENKOV et al. (2014) apresentaram os mecanismos de formação de espumas com base em diversos estudos das últimas décadas. Eles relataram que os mecanismos são poucos, apesar do grande número de compostos químicos que podem estar envolvidos. Além disso, afirmaram que a falta de métodos experimentais convenientes para o estudo dos processos que ocorrem durante a formação da espuma é um dos principais impeditivos para trabalhos de investigação.

Existem vários outros relatos onde a formação de espuma excessiva em fluxos do processo de concentração de minério de ferro ocasionou diminuição da eficiência da planta de beneficiamento (TURRER et al., 2011; GUSTAFSSON & LIMA, 2013; FALCUCCI & TURRER, 2013; FALCUCCI, 2013).

GUSTAFSSON & LIMA (2013) desenvolveram um procedimento experimental para execução de testes em aminas objetivando-se avaliar o poder de formação e estabilização

desse reagenteantes de leva-la para testes indústrias. Objetivaram prever em bancada problemas que não seriam observados em ensaios laboratoriais usuais para avaliar a seletividade do reagente, como microflotação em tubo de Hallimond ou cinética de flotação em cuba de bancada. FALCUCCI & TURRER (2013) também propuseram um método para verificação da estabilidade da espuma, objetivando-se estudar um rejeito de flotação que deveria ser bombeado por longa distância. TURRER et al. (2011) também idealizaram um simples método de laboratório para avaliar a estabilidade da espuma nos efluentes indústrias de usina de pelotização. Identificaram, com esses testes de laboratório e medidas indústrias, que mesmo em baixas concentrações, como 2 mg/L de amina, ocorria formação de espuma estável e indesejada. Contudo, verificaram que redução do pH para valores inferiores à 9 só causaria a formação de espuma estável em concentrações 100 vezes maiores. Por isso, implementaram controle de pH com injeção de CO<sub>2</sub> que resolveu o problema de forma definitiva.

FALCUCCI (2013) relatou diversas melhorias realizadas para promover a desestabilidade dessa mesma espuma antes do bombeamento. Entre elas, citou o uso de reagentes.

No período mais crítico do problema, as perdas devido a estabilidade da espuma na deslamagem da concentração do Minas-Rio da Anglo American atingiram níveis alarmantes, com valores mensais de quase 11%, em relação ao material alimentado na usina. Esse trabalho tem por objetivo relatar as iniciativas que foram tomadas para diminuir essas perdas relativas ao uso de reagentes para desestabilização da espuma.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Materiais e Métodos

Os minérios testados foram coletados na usina. Os pontos de amostragem foram escolhidos em função dos objetivos de cada bateria de testes. Os testes de estabilidade de espuma, ou espumação, foram feitos com amostras dos fluxos da deslamagem, como alimentação da deslamagem primária ou secundária. Os testes de flotação foram realizados com amostra da alimentação do condicionador da flotação.

Amostragens dos fluxos indústrias e Moly-Cop Tools, versão 2.0, e Bimalt 10.0 foram usados para determinação do balanço de massas da usina. Análises químicas foram realizadas por fluorescência de raios-X em pastilha fundida com equipamento Axios da Panalytical. Os percentuais de sólidos foram determinados com uso de balança e as distribuições granulométricas em vibrador suspenso com peneiras da série Tyler e cyclosizer.

O procedimento empregado nos testes de espumação é similar ao desenvolvidos por TURRER et al. (2011) com alguns ajustes para utilização em polpa, ao invés de água com baixa turbidez. Essas modificações resultaram no seguinte procedimento:

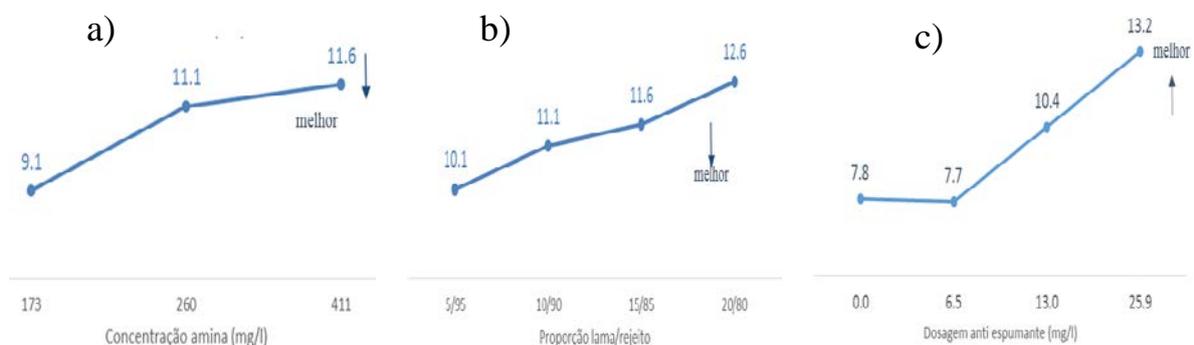
- i. Adição de 500 ml de polpa com percentual de sólidos ajustada em provetas de 1 litro;
- ii. Aeração forçada através de mangueira posicionada no fundo da proveta e dispersor de ar poroso;
- iii. Leitura do volume após a estabilização ou registro do tempo para se atingir o volume de 1 litro. Esse último método foi usado inicialmente, mas substituído pelo primeiro, quando a bomba de ar foi trocada por outra com menor capacidade.

A flotação foi realizada em cuba de 4,5 l com percentual de sólidos ajustado em 60 e 40 %, respectivamente, no condicionamento e na flotação. Foram utilizadas soluções a 1 % de amina 7500 da Clariant e amido de milho Flokit 18 da Kowalski, em dosagens de, respectivamente, 70 e 500 g/t. Quando a dosagem foi diferente dessas, ela foi informada próxima aos resultados apresentados. Amido foi gelatinizado com soda cáustica na relação de 5:1. O pH da polpa foi ajustado para 10,5 com soda cáustica. O amido foi condicionado por 5 minutos antes da adição da amina, que foi condicionada por 1 minuto. A agitação foi controlada em 1.200 e 1.500 rpm, respectivamente, no condicionamento e na flotação

Os testes de flotação foram realizados em cuba de 4,5 l com percentual de sólidos ajustado em 60 e 40 %, respectivamente, no condicionamento e na flotação. Foram utilizadas soluções a 1 % de amina 7500 da Clariant e amido de milho Flokit 18 da Kowalski, em dosagens de, respectivamente, 70 e 500 g/t. Em alguns testes, especificados no capítulo a seguir, as dosagens variaram. Amido foi gelatinizado com soda cáustica na relação de 5:1. O pH da polpa foi ajustado para 10,5 com soda cáustica. O amido foi condicionado por 5 minutos antes da adição da amina, que foi condicionada por 1 minuto. A agitação foi controlada em 1.200 e 1.500 rpm, respectivamente, no condicionamento e na flotação

## 2.2 Resultados e Discussão

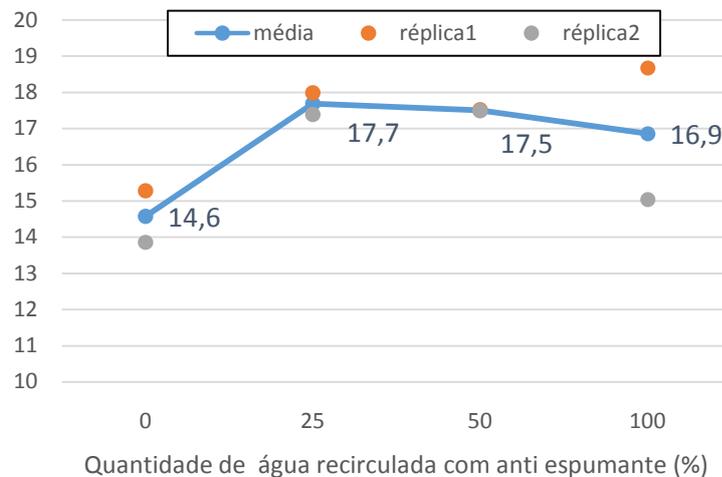
Vários testes de espumação foram realizados para avaliar o efeito das variáveis na estabilidade da espuma. Os resultados desses testes, resumidamente, mostraram que concentração de amina em solução, figura 3a, e o percentual de finos, figura 3b, aumentavam a estabilidade da espuma, enquanto a utilização de reagente antiespumante diminuía a estabilidade da mesma, figura 3c.



**Figura 3.** Volume (ml) que a espuma atingia na proveta após estabilização em função da quantidade de amina adicionada na polpa (a), volume (ml) que a espuma atingia na proveta após estabilização em função da proporção de lama e rejeito, matérias com D80 de, respectivamente, 22 e 94  $\mu$ m (b) e taxa de desaparecimento (ml/s) da espuma em função da quantidade de antiespumante (c).

Uma bateria de testes de flotação foi realizada com mistura de água, de diferentes fontes, em diferentes proporções. Foram usadas águas do poço que abastece o laboratório e coletada na usina. Essa última foi coletada na alimentação da flotação, num período em que estava ocorrendo grande formação de espuma na deslamagem. Essa polpa ainda passou por dois processos até obtenção da água: adição de antiespumante até a desestabilização da espuma e sedimentação dos sólidos para coleta do sobrenadante. Os resultados, figura 4, não mostraram

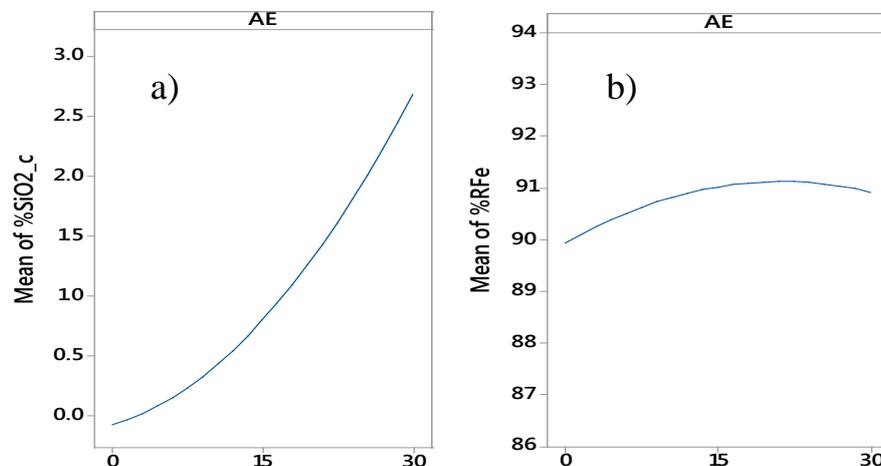
efeito significativo da quantidade de água que teve contato com o antiespumante no índice de seletividade da flotação. Suspeitou-se que o efeito negativo do antiespumante foi balanceado pelo efeito positivo da amina residual presente na água coletada na usina.



**Figura 4.** Índice de seletividade da flotação em diferentes.

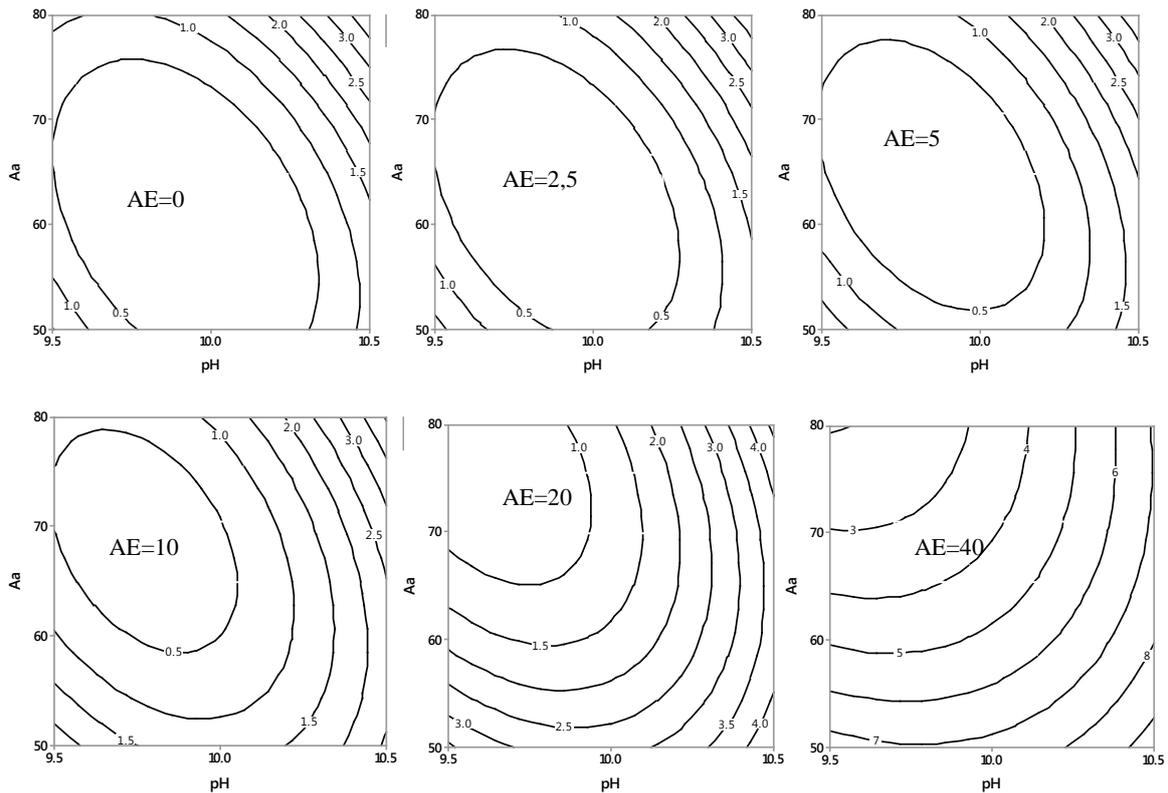
Outras baterias de testes de flotação foram realizadas. Os resultados do experimento fatorial que teve como fatores a dosagem, pH de flotação, dosagem de amina (Aa) e de antiespumante (AE) mostraram que:

i) Maior efeito do antiespumante na qualidade do concentrado do que na recuperação metálica, que ainda exibiu efeito positivo (figura 5).



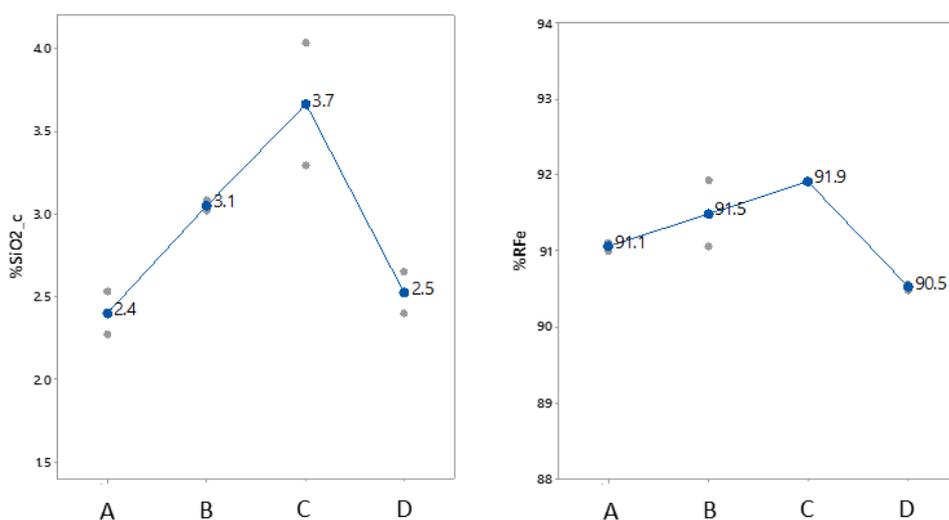
**Figura 5.** Efeito principal da dosagem de antiespumante (AE), em g/t, no teor de sílica no concentrado (a) e recuperação metálica (b) da flotação.

ii) O antiespumante não exibiu efeito negativo até a dosagem de 10 g/t. Até essa quantidade, a dosagem de amina e pH para obtenção de baixa sílica no concentrado sofreu uma pequena redução e o ponto ótimo se deslocou para pH menos alcalino e maiores dosagens de amina. Porém, para dosagens de antiespumante acima de 20 g/t, observa-se a impossibilidade de obtenção de concentrado com ótima qualidade (figura 6).



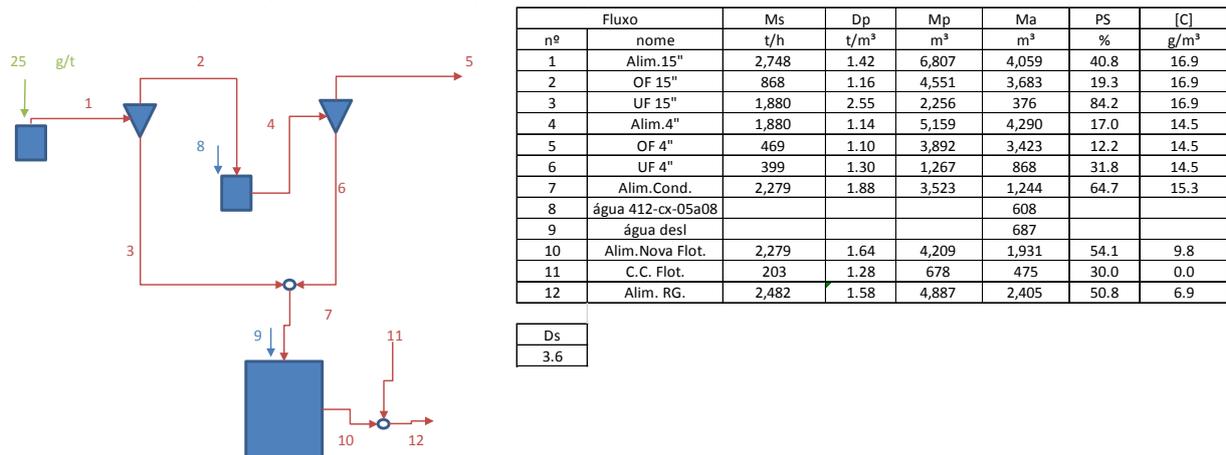
**Figura 6.** Curvas de isovalores para teor de sílica no concentrado em função do pH de flotação, dosagem de amina, em g/t (Aa) e de antiespumante, em g/t (AE).

Por fim, outra bateria de testes de flotação foi realizada para comparar o efeito de diferentes formulações de antiespumantes no desempenho da flotação. Esses testes foram realizados com adição de 20 g/t de antiespumante, pois, de acordo com a bateria anterior, nessa dosagem o efeito negativo do antiespumante seria realçado. Os resultados, exibidos na figura 7, mostram que os reagentes, com exceção do C, têm efeito estatisticamente iguais para recuperação metálica da flotação e teor de sílica no concentrado.



**Figura 7.** Efeito de diferentes antiespumantes à 20 g/t no desempenho da flotação.

A concentração teórica do antiespumante na alimentação da flotação industrial também foi calculada utilizando-se resultados de balanços de massas feitos na deslamagem e na flotação. As principais premissas adotadas para isso foram: i) dosagem de antiespumante na deslamagem praticada durante utilização industrial em janeiro de 2017; ii) balanços de massa e água das campanhas de amostragens da deslamagem e flotação de, respectivamente, outubro e dezembro de 2016; iii) partição do reagente igual à da água; iv) 12% de degradação do reagente do ponto de dosagem até entrada da flotação. Dessa forma, foi determinado uma concentração do reagente na flotação de 6,9 g/m<sup>3</sup> ou 6,7 g/t de alimentação da flotação, conforme memória de cálculo apresentado na figura 8. O que, conforme resultados exibidos na figura 7, demonstrou que não teria efeito significativo na concentração.



**Figura 8.** Cálculo para determinação da concentração do anti-espumante na alimentação da flotação.

Após alguns meses de utilização industrial, mesmo sem um sistema de dosagem com controle automatizado, foram verificados uma série de benefícios como elevação da pressão na deslamagem em 0,16 kgf/cm<sup>2</sup>, diminuição de perdas por transbordo nas caixas de deslamagem em 4,19% e redução da variabilidade da recuperação da deslamagem, medida através do intervalo de confiança da média que reduziu em 0,6% em valores absolutos. Além disso, sabe-se que outros ganhos ocorrerão, mas demandarão um maior período para serem evidenciados, como a redução da manutenção com as bombas da deslamagem, devido diminuição da cavitação, e aumento da recuperação global do circuito, advindo da otimização da operação da flotação com essa nova condição de maior taxa de alimentação. Contudo, o ganho mais expressivo foi no aumento da produtividade, pouco mais de 1%.

### 3 CONCLUSÃO

A utilização de reagente antiespumante nas caixas da deslamagem reduziu significativamente as perdas por transbordo da usina de concentração. As dosagens praticadas não afetam negativamente o desempenho da concentração e já resultaram num aumento significativo de produção.

### REFERÊNCIAS

DENKOV, N.D.; MARINOVA, K.G.; TCHOLAKOVA, S.S. (2014) Mechanistic understanding of the modes of action of foam control agents. *Advances in Colloid and Interface Science*, v.206, p.57-67.

FALCUCCI A., TURRER H.D.G. (2013) The effect of pH on froth properties. 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, Belo Horizonte, MG, Brasil, p.796-801.

FALCUCCI A. (2013) Bombeamento de espumas minerais. 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, Belo Horizonte, MG, Brasil, p.44-56.

GUSTAFSSON, J.O.; LIMA, O. (2013) Impact of froth structure on iron ore flotation. In: Anais do 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, Belo Horizonte, MG, Brasil, p.796-801.

TURRER, H.D.G.; COL, C.J.B.D.; ROCHA, L.F.; JUNIOR, A.M.A.; ZUCHI, M.A.; VETTORACI, F.C.; PAIXAO, A.F. Utilização de CO<sub>2</sub> para controle de formação de espumas nos efluentes indústrias. In: Anais do 41º Seminário de Redução de Minério de Ferro e Matérias-primas e 12º Seminário Brasileiro de Minério de Ferro, Vila Velha, ES, p.190-201.