

ESTUDOS DE CONCENTRAÇÃO DE SULFETOS DE COBRE EM ESCALA BANCADA

BENCH-SCALE COPPER SULPHIDE CONCENTRATION STUDIES

Gabriel dos Santos da Silva

Aluno de Graduação de Engenharia Química, 6º período
Universidade Federal do Rio de Janeiro
Período PIBITI/CETEM: agosto de 2023 a agosto de 2024
gabriel0401@eq.ufrj.br

Elves Matiolo

Orientador, Engenheiro de Minas, D.Sc.
ematiolo@cetem.gov.br

RESUMO

O cobre é um elemento importante economicamente devido às diversas áreas em que ele é utilizado como indústria civil, automobilísticas, energia, entre outros, o qual está presente em grande parte no mineral calcopirita (CuFeS_2). Esse trabalho teve como objetivo avaliar a o efeito da variação do pH e da dosagem do coletor amil xantato de potássio (PAX) na flotação de calcopirita em escala de bancada. Os resultados foram avaliados a partir da comparação dos teores de calcopirita obtidos na flotação feita em diferentes valores de pH com o coletor senkol 2 (DTF) e com base nos resultados, realizou-se o mesmo para o coletor PAX em dois pH em comum ao DTF. Foi verificado que o aumento de pH aumenta a seletividade entre os minerais pirita e calcopirita. Entretanto, o coletor PAX não demonstrou uma seletividade de minerais eficiente comparado ao coletor DTF.

Palavras-chave: cobre, calcopirita, flotação, coletor.

ABSTRACT

Copper is an economically important element due to the various areas that it is used such as civil industry, automotive, energy, among others, which is contained largely in chalcopyrite (CuFeS_2). The objective of this study was to evaluate the pH variation and the use of the potassium amyl xanthate collector (PAX) in the direct flotation of chalcopyrite on a bench scale. The study was carried out from the comparison of the chalcopyrite contents obtained in the flotation made at different pHs with the dithiophosphate collector (DTF) and based on the results, the same was performed for the PAX collector in two pHs in common with the DTF. It was verified that the increase in pH favors the selectivity of minerals, which the separation between chalcopyrite and pyrite is noticeable in the final concentrate. However, the PAX collector haven't shown an efficient mineral selectivity compared to the DTF collector.

Keywords: copper, chalcopyrite, flotation, collector.

1. INTRODUÇÃO

O cobre é um elemento não ferroso que apresenta uma escassez geoquímica na crosta terrestre, onde possui uma concentração de 50 ppm aproximadamente e além disso, pode ser encontrado em mais de 150 minerais (ROCIO et al,2012). A mineração do cobre ocorre principalmente nos estados de Pará e Goiás, onde são responsáveis por aproximadamente 85% da produção desse elemento. (FARIAS, 2003).

O minério de cobre pode apresentar duas condições geológicas, oxidado ou sulfetado. Na condição de oxidado, o minério apresenta um teor baixo de cobre (0,5-1,5%) e pode ser encontrado nas áreas mais externas da crosta terrestre, enquanto o sulfetado possui um teor elevado de cobre e é encontrado nas zonas mais internas, sendo a calcopirita (CuFeS_2) um dos principais minerais de cobre (ANDRADE et al., 2001). Aproximadamente 70% de reservas do cobre mundial têm como principal mineral a calcopirita (CuFeS_2) (BEVILAQUA, D. et al, 2024).

Uma das principais tecnologias para a concentração de minérios é a flotação, a qual baseia-se nas características superficiais que podem ser alteradas por meio de reagentes químicos como coletor, depressor, espumantes, entre outros. Na flotação de calcopirita, a adsorção do coletor na superfície desse mineral tem o objetivo de recobri-lo por completo e torná-lo hidrofóbico de modo a interagir com as bolhas, que faz com que sejam direcionados para a superfície da polpa a fim de que sejam removidos mecanicamente, enquanto os minerais de ganga (pirita e silicato) permanecem no fundo por serem hidrofílicos (LUZ et al., 2010).

Um dos desafios na flotação de calcopirita é flotação diferencial do mineral de ganga pirita (FeS_2) associado ao minério sulfetado (BICAK et al., 2007). Segundo Ekmekçi e Demirel (1997), a interação entre calcopirita e pirita pode ser explicada a partir de um modelo galvânico, onde ocorre a oxidação da calcopirita que conseqüentemente, pelas reações que sucedem, forma espécies hidrofóbicas como (Cu-S) que se aderem à superfície da pirita de tal forma que a ativa, habilitando-a interagir com as bolhas da flotação.

Um dos fatores que influencia a eficiência da separação de calcopirita e pirita é o pH da polpa. Nesse contexto, foi proposto a avaliação do efeito do pH e do tipo de coletor na flotação de calcopirita.

2. OBJETIVO

O presente trabalho tem por objetivo avaliar o efeito da variação do pH e do tipo de coletor (PAX ou DTF) sobre a flotação seletiva entre pirita e calcopirita.

3. METODOLOGIA

A amostra utilizada é proveniente dos furos de sondagem de um depósito localizado no estado do Pará. Foi feita a caracterização física (distribuição granulométrica por peneiramento a úmido e determinação de densidade por picnometria a gás hélio), química (fluorescência de raios X) e mineralógica (DRX).

Os ensaios de flotação foram realizados em escala de bancada em uma célula mecânica da marca DENVER, modelo D12, equipada com inversor de frequência. Para a avaliação do efeito da variação do pH na flotação de calcopirita, realizou-se ensaios variando o pH de 10,5 a 12,3, em circuito aberto com etapa *rougher* e três etapas de limpeza (*cleaner*).

Previamente ao condicionamento, o pH foi ajustado para os valores de 10,5, 11,5, 12,0 ou 12,3 com o uso do modulador de pH hidróxido de cálcio (leite de cal). Após o ajuste, o condicionamento foi executado com a adição do coletor senkol 2 (DTF) ou amil xantato de potássio (PAX) durante 1 minuto e em seguida, o espumante metil-isobutil-carbinol (MIBC) foi adicionado e condicionado também por 1 minuto. Em todos os ensaios de flotação utilizou-se uma dosagem de coletor e espumante de 35 g/t e 20 g/t respectivamente. Na etapa de condicionamento a polpa foi ajustada a 50% de porcentagem de sólidos, enquanto na flotação,

dilui-se a polpa até a porcentagem de 35%. Após o ajuste da porcentagem de sólidos, o ar foi autoaspirado para a formação de bolhas em uma vazão de ar com faixa de 3,2 - 11,1 L/min. A duração da etapa *rougher* foi de 8 minutos, da *cleaner* 1 foi de 4 minutos, e tanto a *cleaner* 2 quanto a *cleaner* 3 tiveram duração de 2,5 minutos. Ao todo foram realizados 7 (sete) ensaios de flotação, onde os cinco primeiros ensaios foram realizados com o DTF como coletor, nos valores de pH 10,5, 11,5, 12,0 e 12,3, e os dois últimos testes foi utilizado o PAX como coletor em pH de 11,5 e 12,3. Ao final da flotação, os produtos (concentrado e rejeito) de cada teste foram filtrados, secos, pesados e enviados para a análise química.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A densidade da amostra medida por picnometria a gás hélio foi de 2,88 g/cm³. A distribuição granulométrica da amostra que alimentou os ensaios de flotação mostrou que 80% da amostra é passante 112 µm e 48% se encontra abaixo de 38 µm.

A Tabela 1 apresenta a composição química da amostra cabeça que foi realizada através do método FRX. A amostra apresentou um teor de 0,89% de Cu, 17,9% de Fe e 4,9% de S.

Tabela 1: Composição química da amostra alimentação da flotação.

Cu (%)	S (%)	Fe (%)	Al (%)	SiO ₂ (%)	Si (%)	K (%)
0,89	4,9	17,9	4,5	59,1	27,7	2,3

A Figura 1 apresenta o efeito do pH sobre o teor e a recuperação de Cu para os 7 ensaios de flotação realizados com uso dos coletores DTF e PAX. O teor de Cu variou de 8 a 24 % e recuperação metalúrgica de Cu de 59 a 81%. Observa-se um maior teor de Cu na faixa de pH entre 12 a 12,3 em uma média de 23,3%.

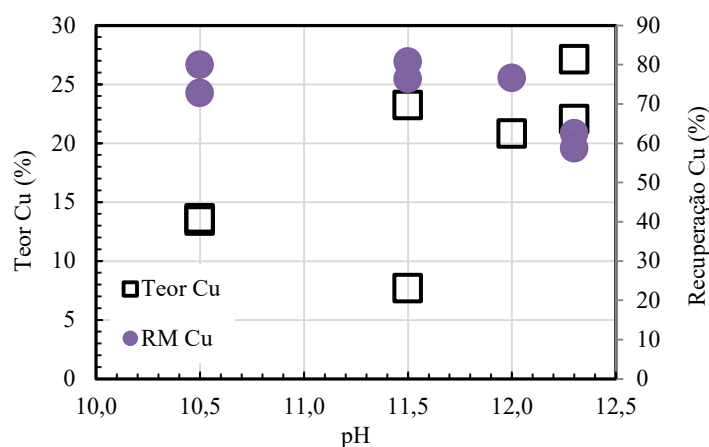


Figura 1: Gráfico relacionando o pH versus o teor e a recuperação de Cu.

Na Figura 2, o teor do mineral de ganga (pirita) encontra-se em 60% e o mineral de interesse (calcopirita) em 37% no pH 10,5. Enquanto no maior pH analisado (12,3), foi atingido o valor máximo de teor de calcopirita de aproximadamente 77% e de pirita, o menor valor comparado aos demais, de 4%.

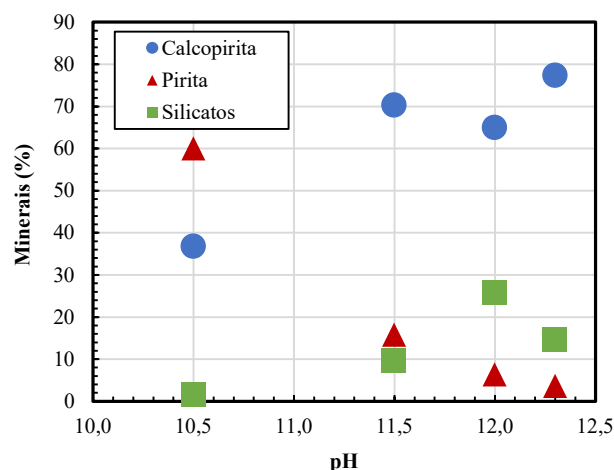


Figura 2: Gráfico relacionando o pH versus teor dos minerais calcopirita, pirita e silicatos na flotação em escala de bancada utilizando DTF como coletor. Configuração *rougher/cleaner* 1 a 3.

Na Figura 3, é possível observar que nos pH 11,5 e 12,3 foi obtido uma diferença considerável no teor de minerais em relação aos coletores DTF e PAX. No pH 11,5, pelo coletor DTF, o concentrado final apresentou um teor de 70,3% de calcopirita e 15,8% de pirita, enquanto que pelo coletor PAX, foi obtido teores de 20,9% e 75,1% de calcopirita e pirita respectivamente. Enquanto no pH 12,3, pelo DTF, foi adquirido um concentrado com teor de 77,3% de calcopirita e 3,7% de pirita, já pelo coletor PAX um teor de 82,8% de calcopirita e 7,4% de pirita. A respeito do silicato que é um mineral de ganga com uma menor presença nos concentrados no final, obteve-se um teor médio de 13%.

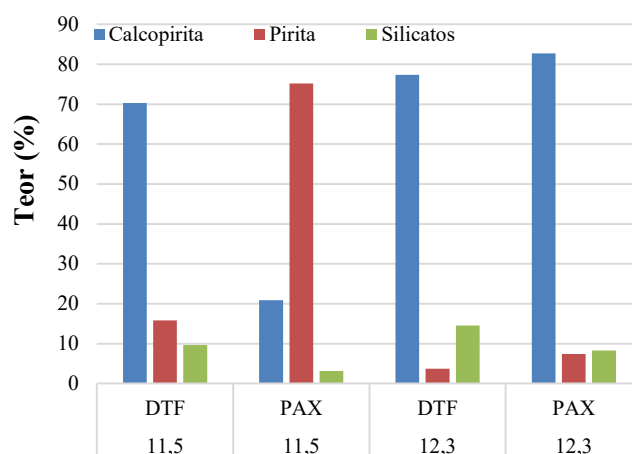


Figura 3: Gráfico de barras de pH e coletor de sulfetos versus teor dos minerais calcopirita, pirita e silicatos na flotação de sulfetos escala de bancada. Configuração *rougher/cleaner* 1 a 3.

5. CONCLUSÃO

Diante dos resultados, o teste com pH 11,5, apresentou os melhores resultados em relação à recuperação metalúrgica do cobre (81%), o qual obteve um concentrado final com teor de 23% de Cu e 5% de Si. Esse resultado ocorreu devido à presença de íons Ca^{2+} provenientes da dissociação do hidróxido de cálcio, que se aderem à superfície da pirita e consequentemente, diminui a sua interação com o meio hidrofóbico da flotação. Os resultados também mostraram que o aumento do pH da flotação com uso de DTF ou PAX aumenta a seletividade de calcopirita, já que como observado no ensaio no qual foi testado o maior pH (12,3), alcançou-se o maior teor de calcopirita (77,3%) e o menor teor de pirita (3,7%) com DTF como coletor. Entretanto, o coletor PAX não mostrou ser eficiente como o DTF, considerando que no pH 11,5,

o DTF já apresentou uma separação mineral efetiva (70,3% de calcopirita e 15,8% de pirita) ao contrário do PAX que nesse mesmo ponto, obteve um teor de mineral de ganga elevado no concentrado final (20,9% de calcopirita e 75,1% de pirita). Sendo assim, nesse estudo é possível observar que o pH é um parâmetro importante para a eficiência da flotação de calcopirita, porém pelo coletor PAX, a faixa de pH para que seja obtida uma seletividade melhor é mais restrita do que o DTF.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Elves Matiolo pelo apoio, ao CETEM/MCTI e seus servidores pela estrutura e suporte, e ao CNPq pela concessão da bolsa de Iniciação Científica (IC).

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, M.L.A.; CUNHA, L.M.S. de; GANDRA, G.T. O cobre brasileiro em ascensão no cenário mundial. Banco Nacional de Desenvolvimento Social. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, nº 13, p. 65-94, mar. 2001.

Anuário Mineral Brasileiro: principais substâncias metálicas / Agência Nacional de Mineração; coordenação técnica de Karina Andrade Medeiros. – Brasília: ANM, 2023. 23 p.; il.

Bevilaqua, D. et al. (2024). Chalcopyrite Dissolution: Challenges. In: Panda, S., Mishra, S., Akcil, A., Van Hullebusch, E.D. (eds) Biotechnological Innovations in the Mineral-Metal Industry. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham

Bicak, O., Ekmekci, Z., Bradshaw, D.J., Harris, P.J., 2007. Adsorption of guar gum and CMC on pyrite. Miner. Eng. 20 (10), 996-1002.

BULATOVIC, S.M. Handbook of Flotation Reagents: Chemistry, Theory and Practice - Flotation of sulfide ores, v. 2. Amsterdam: Elsevier Science & Technology Books. p.446. 2007

Ekmekçi, Z., Demirel, H., 1997. Effects of galvanic interaction on collectorless flotation behaviour of chalcopyrite and pyrite. Int. J. Miner. Process. 52 (1), 31-48.

FARIAS, J.O.G. Perfil de Mineração de Cobre. Ministério de Minas e Energia – MME. Agosto de 2009. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/arquivos/relatorio-ndeg23-perfil-da-mineracao-de-cobre.doc>>. Acesso em: 29 jun. 2024.

LUZ, A.B.; SAMPAIO, J.A.; FRANÇA, S.C.A. Tratamento de Minérios. 5ª Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2010. 965 p

RAO, S.R. Surface Chemistry of Froth Flotation. New York: Plenum Press. 744 p.2004.

ROCIO, Marco Aurélio Ramalho; SILVA, Marcelo Machado; CARVALHO, Pedro Sergio Landim; CARDOSO, José Guilherme Da Rocha. Perspectivas atuais da indústria de cobre no Brasil. 36. ed. Rio de Janeiro: BNDES, 2012. p. 397-428