

BIO-EXTRAÇÃO DE COBRE A PARTIR DO REJEITO DE MINÉRIO INTEMPERIZADO

COPPER BIOEXTRACTION OUT OF WEATHERED ORE TAILING

Amandha Gomes Tavares de Miranda

Aluna de Graduação de Ciências Biológicas, 8º período
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ-ZO)
Período ESTÁGIO/CETEM: maio de 2022 a maio de 2023
amandhamiranda3@hotmail.com

Luis Gonzaga Santos Sobral

Orientador, Engenheiro Químico, Ph.D.
lsobral@cetem.gov.br

Andriela Dutra Norberto de Oliveira

Coorientadora, Bióloga, mestranda pela EQ/UFRJ
adoliveira@cetem.gov.br

RESUMO

Este estudo aborda a extração de cobre, a partir de rejeitos de minérios intemperizados por meio do uso de ácido sulfúrico biogênico gerado pela bio-oxidação de enxofre elementar. No caso específico do minério intemperizado de cobre, que é processado hidrometalurgicamente, há a presença de brocantita ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$), malaquita ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) e bornita (Cu_5FeS_4), que são as principais espécies carreadoras de cobre. A partir de ensaios em frascos agitados, foi avaliada a eficácia e a capacidade do processo bio-oxidativo de enxofre em gerar ácido sulfúrico suficiente para solubilizar essas espécies mineralógicas. Os resultados dos testes de bio-extração foram bastante satisfatórios, equiparando-se aos obtidos por meio de simulações de lixiviação ácida convencional em colunas, com diferentes condições operacionais, tais como: (i) lixiviação utilizando o ácido produzido por *A. thiooxidans*, tanto em cultivo puro quanto em associação com *A. ferrooxidans*; (ii) realização dos testes em temperatura controlada de 30°C; (iii) comparação da lixiviação do minério utilizando moinhos de rolos de alta pressão (HPGR); (iv) adição uniforme de diferentes cargas de enxofre no leito mineral; e, por fim, (v) simulação da adição de enxofre elementar apenas na parte superior do leito mineral na coluna. Essas abordagens e condições operacionais podem fornecer informações valiosas sobre os requisitos necessários para a extração eficiente de cobre a partir de rejeitos de minérios intemperizados, possibilitando o desenvolvimento de processos de bio-extração viáveis e sustentáveis.

Palavras-Chave: cobre, bio-extração, microrganismos.

ABSTRACT

This study addresses the extraction of copper from weathered ore tailings using biogenic sulfuric acid generated by the bio-oxidation of elemental sulfur. In the specific case of the weathered copper ore, which is hydrometallurgically processed, there is the presence of brochantite ($\text{Cu}_4\text{SO}_4(\text{OH})_6$), malachite ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$), azurite ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) and bornite (Cu_5FeS_4), which are the main copper bearing species. From shaking bottle tests, the effectiveness and ability of the sulphur bio-oxidative process to generate sufficient sulphuric acid to solubilize these mineralogical species were evaluated. The results of the bio-extraction tests can be quite satisfactory, matching those obtained by simulations of conventional acid leaching in columns, with different operational conditions, such as: (i) leaching using the acid produced by *A. thiooxidans*, both in pure culture and in association with *A. ferrooxidans*; (ii) conducting the tests at a controlled temperature of 30°C; (iii) comparison of ore leaching using

high pressure grinding rolls (HPGR); (iv) uniform addition of different sulphur loadings to the mineral bed; and, finally, (v) simulation of adding elemental sulphur only at the top of the mineral bed in the column. These approaches and operating conditions can provide valuable information on the requirements needed for efficient copper extraction from weathered ore tailings, enabling the development of viable and sustainable bio-extraction processes.

Keywords: copper, bio-extraction, microorganisms.

1. INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos, as sociedades humanas têm se beneficiado da utilização do cobre e de suas propriedades físico-químicas, as quais incluem sua maleabilidade e sua excelente capacidade de condução tanto de eletricidade quanto de calor (COPPER DEVELOPMENT ASSOCIATION, 2015). Seguindo os processos de formação e alteração que os depósitos minerais sofrem, os minerais são categorizados como primários, secundários ou intemperizados (também conhecidos como oxidados). A Figura 1 apresenta as transformações possíveis que podem ocorrer nos diferentes estágios de um depósito de cobre.



Fonte: Adaptado de Domic (2001).

Figura 1: Ilustração representativa de um depósito de cobre com exposição à intempérie e processos de oxidação.

Os minérios primários de cobre são formados por sulfetos minerais com diferentes características e são encontrados em camadas profundas. Alguns desses minérios são altamente refratários, como a calcopirita (CuFeS_2), enquanto outros são menos refratários, como a covelita (CuS) e a calcosina (Cu_2S). Além disso, alguns depósitos de cobre podem conter sulfetos minerais adicionais, como pirita (FeS_2) e molibdenita

(MoS_2) (LUZ, 2004). Os minerais secundários de cobre, como a calcosina (Cu_2S) e a bornita (Cu_5FeS_4), são formados por processos oxidativos que ocorrem naturalmente nos minerais primários. Por fim, os minérios intemperizados de cobre resultam de alterações físicas e químicas nas rochas, que envolvem fragmentação e decomposição dos minerais primários por meio de várias reações químicas, como oxidação, hidratação, dissolução, hidrólise e acidólise (DOMIC, 2001).

A extração de cobre a partir de minérios intemperizados é realizada utilizando um leitoestático, conhecido como pilha de lixiviação. Essa tecnologia é preferida devido aos custos inferiores de implantação e operação em comparação com os processos de lixiviação em tanques agitados (CARRETERO, 2010). O processo consiste em depositar grandes quantidades de minério sobre uma base impermeabilizada, formando uma pilha com formato de tronco de pirâmide. A superfície da pilha é irrigada com uma solução ácida, geralmente sulfúrica.

A extração de cobre por meio da bio-extração de minério é precedida por várias etapas e processos unitários. Isso inclui operações convencionais de processamento mineral, como escavação, britagem e moagem, bem como o processo de biolixiviação. Durante a etapa de prospecção, são formadas partículas finas e grossas, que são homogeneizadas em um aglomerador com uma inclinação de aproximadamente 5 graus e com a presença de ácido sulfúrico concentrado. Esse material aglomerado é colocado na pilha e passa por um tempo de cura, geralmente em torno de 24 horas. Em seguida, a pilha é irrigada com solução ácida, que percola o leito mineral, gerando uma lixívia rica em cobre. Essa lixívia é enviada para o processamento posterior de extração por solventes, que tem dois propósitos principais: purificar a lixívia, removendo impurezas metálicas, e concentrar o metal de interesse presente na lixívia. A solução resultante, agora rica no metal de interesse e livre de impurezas, passa para a etapa de eletrólise (ou eletrorecuperação), onde o cobre eletrolítico é obtido com uma pureza mínima de 99,99%. Após o processo de extração por solventes, a solução remanescente, chamada de refinado, é depositada em tanques apropriados. Essa solução, rica em ácido, pode ser reutilizada no processo de lixiviação (PANDA *et al.*, 2012; SOTO *et al.*, 2012; BISWAS; DAVENPORT, 2013).

2. OBJETIVO

Realizar a bio-extração de cobre a partir de rejeitos de minério intemperizado/oxidado de cobre via produção biogênica de ácido sulfúrico, pela bio-oxidação de enxofre elementar, utilizando o microrganismo *Acidithiobacillus thiooxidans*.

3. METODOLOGIA

A cultura microbiana pura de *A. thiooxidans* (FG01), inicialmente isolada do efluente ácido de uma mina de urânio (Garcia Jr., 1991), foi mantida em agitador orbital a 30°C em meio MKM modificado. Esse meio continha enxofre elementar como fonte de energia (1% p/v) e uma composição adicional, incluindo 0,4g/L de sulfato de amônio, 0,4g/L de sulfato de magnésio hepta-hidratado e 0,04g/L de di-hidrogeno fosfato de potássio. O pH do meio MKM foi ajustado para 2,0 utilizando uma solução de ácido sulfúrico 5M. O número de células microbianas em solução foi determinado por microscopia com contraste de fase utilizando a câmara de Thoma. Em seguida, uma massa de 10g do rejeito em estudo foi adicionada ao volume de solução contendo o meio de cultivo, juntamente com o enxofre elementar. A amostra do rejeito mineral continha 0,64% de cobre, conforme determinado por espectrometria de absorção atômica após digestão ácida de uma amostra combinada (TAYLOR & REISMAN, 2000). O cobre estava presente na forma de brocantita de $Cu_4SO_4(OH)_6$ e malaquita $Cu_2CO_3(OH)_2$, conforme determinado por difração de raios-X (DRX).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os testes de bio-extração de cobre, a partir do rejeito do minério intemperizado, foram concluídos, alcançando a total solubilização do cobre contido. Durante o experimento, foram coletadas amostras em intervalos estabelecidos para avaliar a eficiência da extração. Embora não tenha sido possível realizar análises das amostras retiradas, elas foram armazenadas em frascos de Teflon para análise posterior. Durante o período de experimento, observou-se uma intensificação da coloração da solução, caracterizada pela presença de íons cúpricos (Cu^{2+}), conferindo uma tonalidade azulada. Esse fenômeno indica a presença do cobre solubilizado no meio, evidenciando o sucesso do processo de bio-extração. Os resultados obtidos até o momento mostram a continuidade da geração de ácido sulfúrico por meio da bio-oxidação do enxofre elementar adicionado ao meio reacional, como evidenciado pelo monitoramento do pH (Figura 2). Esses resultados promissores indicam a eficiência do processo de bio-extração na solubilização do cobre contido no rejeito do minério intemperizado.

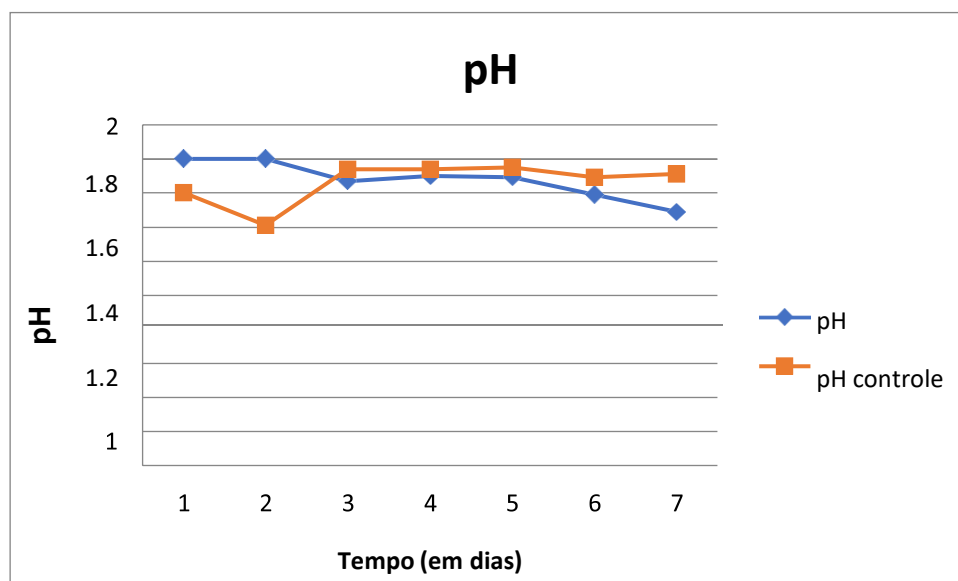


Figura 2: Variação do pH ao longo do experimento.

5. CONCLUSÕES

A realização de um estudo minucioso sobre a bio-extração de metais de base a partir de resíduos minerais é essencial para definir as condições experimentais adequadas e alcançar a máxima extração dos valores metálicos remanescentes. No caso específico do resíduo de cobre, os testes *in vitro* e em colunas semipiloto têm mostrado uma alta eficácia no processo bio-extrativo desse metal, especialmente quando são definidas previamente as condições operacionais para a utilização de enxofre elementar como matéria-prima na produção biogênica de ácido sulfúrico.

Esses resultados promissores indicam que a bio-extração de cobre, a partir de resíduos minerais provenientes de processos prévios de lixiviação em pilha dos minérios intemperizados, pode ser uma abordagem eficiente. No entanto, é fundamental realizar uma análise detalhada das condições experimentais, a fim de otimizar esse processo e obter a máxima extração dos valores metálicos remanescentes.

Com base nesse estudo, é possível definir, com maior precisão, as melhores práticas e condições operacionais para a bio-extração de cobre, utilizando enxofre elementar como matéria-prima na produção biogênica de ácido sulfúrico. Essa abordagem pode ser uma alternativa sustentável e economicamente viável para recuperar metais de base valiosos de resíduos minerais.

6. AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CETEM pela infraestrutura e fomento, aos meus orientadores Dr. Luis Sobral e Andriela Dutra pelos ensinamentos, e a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, S.K. Detecção de bactérias redutoras de sulfato em efluente e sedimento de mina de urânio. 2005. 93 f. Dissertação (mestrado em ciência e tecnologia das radiações, minerais e materiais) – Centro de desenvolvimento da tecnologia Nuclear CDTN. Belo Horizonte: Comissão Nacional De Energia Nuclear, 2005.

BEEBE, J.L.; UMBREIT, W.W. Extracellular lipid of thiobacillusthiooxidans. *Journal Of Bacteriology*, v. 108, p. 612-614, oct. 1971.

BRIERLEY, J.A.; BRIERLEY, C.L. Present and future commercial applications of biohydrometallurgy. *Hydrometallurgy*, v. 59, p. 233-239, 2001.

BRIERLEY, C.L., BRIERLEY, J.A., 2013. Progress in bioleaching: part b: Applications Of Microbial Processes By The Minerals Industries. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 97, 7543-7552.

WEST-SELLS, P.G., BOUFFARD, S.C., TSHILOMBO, A.F., Bruynesteyn, A., 2007.

Acidgeneration by in-situ sulfur biooxidation for copper heap leaching, pp. 323-334 in *Cu 2007*, vol. IV, (Book 1) The John Dutzac International Symposium On Copper Hydrometallurgy, P.A. Riveros, D.G. Dixon, M.J. Collins, eds., Toronto, Canada.