



Recuperação seletiva de cobalto de baterias Íon- lítio usadas por meio de lixiviação com ácido fórmico

Lunna C. Silva (G), Brenda O. L. Menezes (PG), Ueslei G. Favero (PG), Maria C. Hespanhol (PQ)*

¹ Grupo de Análise e Educação para a Sustentabilidade (GAES), Departamento de Química, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 36570-900.

*mariacarmo@ufv.br

RESUMO

RESUMO - O crescente uso de dispositivos eletrônicos tem impulsionado a demanda por baterias de íon-lítio, resultando em um aumento na geração de resíduos contendo metais de alto valor agregado, como cobalto. Nesse contexto, torna-se essencial o desenvolvimento de processos eficientes e ambientalmente seguros para a recuperação desses metais. Este trabalho investigou a lixiviação seletiva de cobalto a partir da black mass de baterias de íon-lítio esgotadas, utilizando ácido fórmico como agente lixiviante. A caracterização química indicou a presença de teores relevantes de Co, Ni, Mn e Li. Ensaios variando temperatura, concentração do ácido e razão sólido-líquido revelaram que as condições ótimas para extração seletiva de Co são 85 °C, 2,6 mol L⁻¹ e 0,02 g mL⁻¹, respectivamente, alcançando eficiência de 72,8 %. A seletividade observada está associada à complexação promovida pelos ânions orgânicos e à acidez moderada do meio. Os resultados apontam os ácidos orgânicos como alternativas promissoras e sustentáveis para processos hidrometalúrgicos voltados à recuperação de metais críticos.

Palavras-chave: Resíduos eletrônicos, lixiviação, sustentabilidade, cobalto, metais críticos.

Introdução

Com o contínuo avanço industrial e tecnológico, o desenvolvimento de novos dispositivos eletrônicos tem demandado sistemas de armazenamento de energia cada vez mais eficientes. Nesse cenário, as baterias de íon-lítio se destacam devido às suas propriedades eletroquímicas superiores, como alta densidade de energia, estabilidade e longa vida útil (1). No entanto, o aumento expressivo do descarte dessas baterias ao final de seu ciclo de vida tem contribuído para o acúmulo de resíduos eletroeletrônicos.

Dada sua composição, que inclui altos teores de metais considerados críticos, especialmente o cobalto, torna-se imprescindível o desenvolvimento de abordagens tecnológicas voltadas à recuperação seletiva desses elementos (2). Tais estratégias não apenas promovem a valorização de resíduos, como também contribuem para a sustentabilidade das cadeias produtivas e para a mitigação da pressão sobre fontes de matérias-primas.

Nesse contexto, a hidrometalurgia tem se mostrado uma técnica eficaz para a extração de diversos íons metálicos, apresentando altas taxas de reaproveitamento de resíduos eletrônicos. Contudo, o processo tradicional pode envolver etapas complexas e o uso de solventes que representam riscos ambientais, além de implicações para a segurança e a saúde humana (3).

Como alternativa promissora, a lixiviação de resíduos de baterias de íon-lítio com ácidos orgânicos oferece uma abordagem mais sustentável. Entre suas vantagens, destaca-se a redução do impacto ambiental causado pelas águas residuais e pelos poluentes secundários frequentemente associados aos processos hidrometalúrgicos convencionais (4). Ácidos orgânicos, como o

ácido fórmico, apresentam a capacidade de se decompor naturalmente, sendo menos agressivos ao meio ambiente. Apesar de geralmente apresentarem menor força em comparação aos ácidos inorgânicos, H₂SO₄, HNO₃ e HCl, os ácidos orgânicos vêm sendo estudados por seu potencial em extrair elementos valiosos de forma mais ecológica (5).

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo investigar e otimizar o processo de lixiviação de metais a partir de resíduos de baterias íon-lítio descartadas, utilizando o ácido fórmico como agente lixiviante, com foco na eficiência da extração e na sustentabilidade do processo.

Experimental

Composição química

O teor total de metais da black mass (BM) foi determinado por digestão em água-régia (1HNO₃:3HCl), com 0,800 g de amostra aquecida à 90 °C por 480 min sob agitação. A solução obtida foi filtrada (PVDF, 0,45 µm) e transferida para tubo previamente pesado, possibilitando o cálculo da concentração dos metais na solução mãe.

Otimização do processo de lixiviação

Os ensaios de lixiviação foram conduzidos da seguinte forma: 0,200 g de pó foi colocado em contato com 5,00 mL de solução de ácido fórmico (razão sólido-líquido, S/L, = 0,02 g mL⁻¹) e deixado sob agitação (1000 rpm) e aquecimento. Os parâmetros temperatura do sistema, tempo e concentração de ácido foram variados, respectivamente, entre 35 - 90°C, 1 - 480 min. e 0,5 - 3,10 mol kg⁻¹.

Ao término de cada tempo de reação, o lixiviado foi coletado e filtrado com um filtro de seringa (PVDF, 0,45 µm). Posteriormente,

o teor de metais no filtrado foi determinado via espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por micro-ondas (MIP-OES), através de uma curva analítica por adição padrão. A eficiência de lixiviação (%E) foi calculada utilizando a Equação:

$$\%E = \frac{m_{\text{lixiviado}}}{m_{\text{sólido}}} \times 100$$

em que $m_{\text{lixiviado}}$ é a massa do metal em solução após a lixiviação em mg e $m_{\text{sólido}}$ a massa inicial do metal presente no BM em mg.

37º ENCONTRO REGIONAL
DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE QUÍMICA
A química em um mundo em transformação
Ouro Preto-MG
5, 6 e 7 de setembro de 2019

Resultados e Discussão

Composição química

Os teores de metais presentes na BM obtidos na dissolução com água régia estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição química da BM após dissolução com água régia

(concentração ± dp) / % (m/m)				
Co	Ni	Mn	Li	Al
24,0 ± 1,0	18,2 ± 0,8	10,8 ± 0,5	4,5 ± 0,1	6,2 ± 0,6

Os dados experimentais corroboram os valores encontrados na literatura (6), com eventuais desvios justificáveis pelas diferenças nos tipos de resíduos de baterias íon-lítio.

Otimização do processo de lixiviação

Um planejamento experimental foi delineado visando obter as condições ótimas para a extração de cobalto. Os resultados referentes à otimização do processo de lixiviação encontram-se sumarizados na Tabela 2.

Tabela 2. Lixiviação de metais da BM utilizando as condições ótimas obtidas a partir do planejamento experimental: S/L de 0,02 g mL⁻¹; temperatura de 85 °C e concentração do ácido fórmico de 2,6 mol L⁻¹

(concentração ± dp) / % (m/m)				
Co	Ni	Mn	Li	Al
17,5 ± 1,0	3,3 ± 0,8	5,0 ± 0,5	2,7 ± 0,1	0,9 ± 0,6

Conforme pode ser observado, o cobalto é extraído em elevada quantidade, apresentando uma eficiência de extração de 72,8 %. Esse valor é comparável aos encontrados na literatura, em estudos que utilizaram H₂SO₄ a uma concentração de 2,0 M e H₂O₂ a 5 % (v/v), os quais reportaram uma eficiência de extração de aproximadamente 70 % (7). De forma semelhante, o uso de HCl a 5,0 M resultou em uma extração de cerca de 50 % de cobalto (8).

Observa-se ainda que os demais metais presentes são extraídos em quantidades bem menores que o cobalto, indicando que o processo de lixiviação com ácido fórmico favorece a extração seletiva do cobalto.

Esse comportamento pode ser atribuído à natureza do ácido fórmico utilizado no processo, o qual atua como agente de lixiviação eficaz devido à sua capacidade de fornecer íons H⁺, promovendo a dissolução de metais e óxidos metálicos. Além de disponibilizar ânions capazes de formar complexos estáveis com íons metálicos (9). A formação de complexos quelantes entre os íons metálicos e grupos hidroxila, presentes no ácido, contribui para a estabilização da solução e aumento da eficiência de lixiviação (10).

Conclusões

O processo de lixiviação utilizando ácido orgânico é uma alternativa eficiente e seletiva para a extração de cobalto a partir de resíduos de baterias. A eficiência de extração de 72,8 % alcançada é comparável ou superior àquela relatada na literatura para processos tradicionais que utilizam ácidos inorgânicos. Além disso, a baixa extração dos metais concomitantes evidencia a seletividade do processo de lixiviação proposto para o cobalto. Esses resultados reforçam o potencial dos ácidos orgânicos como agentes lixiviantes sustentáveis, alinhados a propostas de processos mais ambientalmente responsáveis na recuperação de metais de interesse.

Agradecimentos

PROBIC/FAPEMIG, CNPq, FAPEMIG, CAPES

Referências

- (1) J. Jenis, T. Zhang, B. Ramasubramanian, S. Lin, R. P. Rao, J. Yu, S. Ramakrishna, *Circ. Econ.* **2024**, 100087.
- (2) S. Castillo, F. Ansart, C. Laberty-Robert, J. Portal, *J. Power Sources* **2002**, 112(1), 247–254.
- (3) C. Lee, D. S. Arby, C. Kim, J. Lim, K. Kwon, E. Chung, *Hydrometallurgy* **2025**, 235, 106494.
- (4) G. Nayaka, Y. Zhang, P. Dong, D. Wang, Z. Zhou, J. Duan, *J. Environ. Chem. Eng.* **2019**, 7(1), 102854.
- (5) R. Golmohammadzadeh, F. Faraji, F. Rashchi, *Resour. Conserv. Recycl.* **2018**, 136, 418–435.
- (6) R. Golmohammadzadeh, F. Rashchi, E. Vahidi, *Waste Manag.* **2017**, 64, 244–254.
- (7) M. K. Jha, A. Kumari, A. K. Jha, V. Kumar, J. Hait, B. D. Pandey, *Waste Manag.* **2013**, 33(9), 1890–1897.
- (8) A. Porvali, M. Aaltonen, S. Ojanen, O. Velazquez-Martinez, E. Eronen, F. Liu, *Resour. Conserv. Recycl.* **2019**, 142, 257–266.
- (9) M. O. Lorenzo, S. Haq, T. Bertrams, P. Murray, R. Raval, C. J. Baddeley, *J. Phys. Chem. B* **1999**, 103(48), 10661–10669.
- (10) N. B. Horeh, S. M. Mousavi, S. A. Shojaosadati, *J. Power Sources* **2016**, 320, 257–266.

