



NOVO MÉTODO PARA A REMOÇÃO DE MATERIAL ATIVO DE ELETRODO DE BATERIA DE ÍON-LÍTIO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.I-022>

Hugo Ferreira dos Santos (*), Gabriel Bruges Soares, Helton Rogger Regatieri, José Ricardo Cezar Salgado
* Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA) | E-mail: hf.santos.2018@aluno.unila.edu.br

RESUMO

Este trabalho descreve um novo método para um dos processos de reciclagem de baterias de íon-lítio. Esse método consiste na remoção do material ativo presente nos eletrodos das baterias de íon-lítio. Antes da remoção do material ativo, é realizada a descarga da bateria para remover as cargas residuais presentes. Em seguida, a bateria é aberta manualmente usando uma mini retificadora. A descarga é realizada em uma solução aquosa de cloreto de sódio (NaCl). Na remoção do material ativo dos eletrodos, é utilizado água destilada como agente lixiviante. O método é bastante eficaz na remoção do material ativo dos eletrodos. No entanto, ainda está em fase de aprimoramento das suas etapas para ser consolidado.

PALAVRAS-CHAVE: Baterias de íon-lítio, material ativo, reciclagem.

ABSTRACT

This paper describes a new method for one of the processes for recycling lithium-ion batteries. This method involves the removal of the active material present in the electrodes of the batteries. Prior to the remove of the active material, the battery is discharged to remove any residual charges present, and then the battery is manually opened using a mini grinder. The discharge is carried out in an aqueous solution of sodium chloride (NaCl). Distilled water is used as a leaching agent in the removal of the active material from the electrodes. The method is highly effective in removal of the active material from the electrodes; however, it is still in the phase of improving its stages to be consolidated.

KEY WORDS: Lithium-ion batteries, active material, recycling.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a preservação do meio ambiente tem se tornado uma preocupação cada vez mais urgente mundialmente. Como resultado, as regulamentações em relação à destinação adequada de resíduos que contenham metais pesados estão se tornando cada vez mais rígidas. Isso tem levado a busca intensa por novas alternativas e técnicas para tratar esses resíduos de forma mais segura e sustentável (XU *et al.*, 2008).

Com o aumento da demanda de produtos que usam baterias de íon-lítio (do inglês *Lithium-ion batteries*, LIBs), como aparelhos eletrônicos e em veículos elétricos, também aumenta a quantidade de materiais residuais, incluindo metais pesados. Dessa forma, a reciclagem de LIBs usadas é altamente visada, pois, além da recuperação de metais como alumínio (Al), cobalto (Co), cobre (Cu), Lítio (Li), manganês (Mg), níquel (Ni) e outros, também existe o viés da conservação de recursos naturais e proteção do meio ambiente.

As LIBs são constituídas de dois filmes metálicos, denominados de eletrodos, sendo o ânodo feito de cobre (Cu) e o cátodo constituído de alumínio (Al). O cátodo geralmente é coberto por um material ativo de óxido de lítio cobalto (LiCoO₂), possuindo características de um pó fino e é agregado juntamente com um aglutinante polimérico denominado de difluoreto de polivinilideno (PVDF). O ânodo é coberto por carbono em forma de grafite em pó. Além disso, entre os dois eletrodos há um material separador, geralmente um polímero, que garante somente a passagem dos íons de lítio durante o processo de oxirredução da bateria (LI *et al.*, 2010). O eletrólito é consistido em um sal de lítio, sendo dissolvido em um solvente orgânico, geralmente hexafluorofosfato de lítio (LiPF₆) (LI *et al.*, 2013). O desenho esquemático a respeito da construção de uma LIB está representado na Figura 1.



Uma das principais etapas para o processo de reciclagem das LIBs é a remoção do material ativo presente em seus eletrodos. Muitos métodos podem ser empregados nesta etapa, como por exemplo, trituração mecânica, tratamento químico, pirometalurgia, eletrólise e processos hidrometalúrgicos (HUANG *et al.*, 2018; ZEWEN *et al.*, 2018). Nesta etapa, um dos principais desafios é remover o material ativo presente no eletrodo de Al, uma vez que o aglutinante PVDF não reage com a maioria dos ácidos e bases fortes, oxidantes e halogênios fortes, além de não se dissolver em reagentes orgânicos, como hidrocarbonetos graxos, hidrocarbonetos aromáticos, aldeídos e álcoois em temperatura ambiente (XU *et al.*, 2008). Dessa forma, a demanda por técnicas que possam extrair o material ativo dos eletrodos das LIBs de forma eficiente e com menor geração de resíduos tem crescido consideravelmente. Embora já existam muitos resultados de pesquisa desenvolvidas sobre as tecnologias de reciclagem de LIBs, grande parte ainda está em escala piloto ou de laboratório (XU *et al.*, 2008).

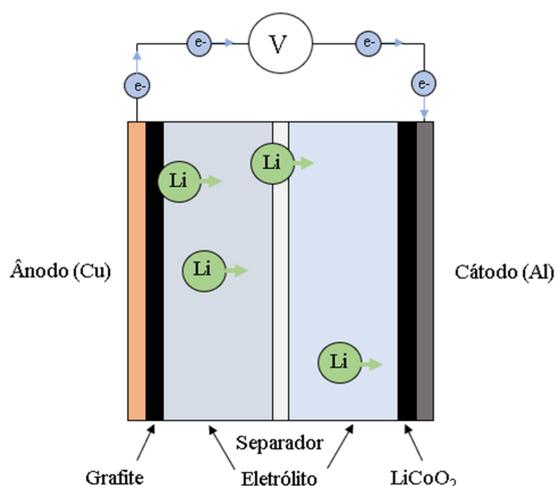


Figura 1: Desenho esquemático de uma LIB. Fonte: Autor do Trabalho.

OBJETIVO

Este trabalho tem como objetivo demonstrar um novo método para a remoção eficiente do material ativo dos eletrodos de alumínio e cobre das baterias de íon-lítio, o que representa uma etapa importante do processo de reciclagem de LIBs.

METODOLOGIA

O processo de remoção do material ativo dos eletrodos compreende as seguintes etapas: I) descarga das baterias como pré-tratamento para a remoção do excesso de cargas residuais; II) abertura manual das baterias e separação dos componentes; e III) processo de remoção do material ativo dos eletrodos.

A etapa de descarregamento foi realizada em solução de cloreto de sódio (NaCl) em meio aquoso (Figura 2 (a)). Nessa etapa, ocorre o processo de eletrólise da água (Equação 1), devido ao fato da bateria ainda possui cargas residuais e potencial acima de 1,23 V, que é o potencial mínimo necessário para induzir esse processo. Além disso, esse tipo de descarregamento apresenta melhor eficiência, segurança e praticidade (TORABIAN *et al.*, 2022; YAO *et al.*, 2020). Para o descarregamento, é preparada uma solução de NaCl, com concentração de 2 mol L^{-1} , e as baterias são imersas na solução por um determinado tempo, que é cronometrado.



Equação (1)

Em seguida, após o descarregamento, é feita a abertura manual das baterias. Nesta etapa, a carcaça da bateria é cortada usando uma mini retífica com disco de corte, tomando os cuidados devidos para não danificar os componentes internos (eletrodos e separador) (Figura 2 (b)). Com a bateria aberta, os componentes, como carcaça, eletrodo de Cu, eletrodo de Al e separador são pesados para quantificar os pesos de cada componente e, posteriormente, o peso de material ativo presente nos eletrodos de Cu e Al.



A próxima etapa consiste na separação dos materiais ativos presentes nos eletrodos (Figura 2 (c)). Os processos são distintos para cada eletrodo. A separação do material ativo do eletrodo de Cu requer a utilização de aproximadamente 800 mL de água destilada como agente lixiviante, além de um banho ultrassônico para acelerar o processo de remoção, o qual é cronometrado. Após a remoção do material ativo do eletrodo de Cu, a solução é levada ao forno estufa para a evaporação da água. Em seguida, o material é removido, moído e pesado.

Para o eletrodo de Al, é necessário realizar o aquecimento prévio do eletrodo no forno mufla. Isso ocorre porque o óxido de lítio geralmente fica preso ao eletrodo por meio de uma camada de PVDF, que forma uma ligação adesiva e dificulta a remoção sem o pré-aquecimento do eletrodo. O aquecimento ajuda a enfraquecer a camada adesiva, permitindo que o material ativo seja removido com maior facilidade. Em seguida, é realizado o mesmo procedimento referente ao eletrodo de Cu. No entanto, depois da remoção do material ativo do eletrodo de Al, a solução é filtrada usando um funil de Büchner, um kitassato de 1000 mL e uma bomba de vácuo para a separação do material. Em seguida, é pesada a quantidade de material obtido.

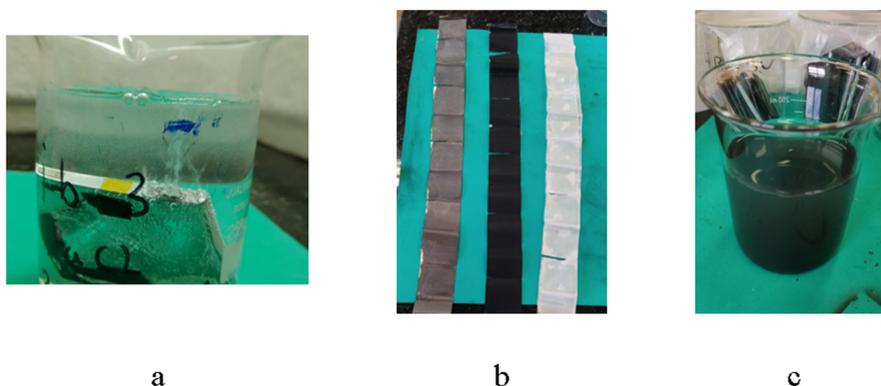


Figura 2: (a) Descarregamento, (b) abertura da bateria e (c) material ativo removido. Fonte: Autor do Trabalho.

RESULTADOS

A etapa de descarregamento é um pré-tratamento desejável antes de realizar a abertura das LIBs, devido aos riscos que elas podem apresentar, como o curto-circuito do ânodo e cátodo, que pode ocasionar uma liberação repentina e abrupta de energia química, causando um grande aumento de temperatura, liberação de gases tóxicos, incêndios e explosões (TORABIAN *et al.*, 2022). O descarregamento foi realizado em uma solução aquosa com concentração de 2 mol L^{-1} de NaCl e durou em média 240 minutos. A voltagem residual final desejada é em torno de 0,5 a 1 V. Com essa voltagem, a abertura ocorreu com segurança, usando equipamentos de segurança adequados.

No processo de remoção do material ativo do eletrodo de Al, a remoção é eficaz. Após a remoção do material ativo, ainda fica presente uma pequena parcela de material depositado no eletrodo (Figura 3 (a)), mas em comparação com a quantidade obtida no processo final a perda de material é insignificante. O tempo médio no banho ultrassônico nesta etapa foi de aproximadamente 19 minutos. A quantidade média de material obtido depois da remoção foi cerca de 11 g, sendo o peso médio total do eletrodo de 15 g.

Ademais, no processo de remoção do material ativo no eletrodo de cobre, conseguiu obter um excelente resultado. Todo o material ativo que estava presente sob o eletrodo foi retirado (Figura 3 (b)). O tempo médio para a remoção completa do material foi de 18 minutos. A quantidade de material obtido foi em média de 5,5 g, sendo o peso do eletrodo, antes do processo, em média de 7 g.



a



b

Figura 3: (a) Eletrodo de alumínio e (b) eletrodo de cobre. Fonte: Autor do Trabalho.

CONCLUSÕES

Neste trabalho foi demonstrado que o método utilizado para remover os materiais ativos dos eletrodos de Cu e Al foi altamente eficaz, garantindo a remoção completa dos materiais. No entanto, o processo ainda está em aprimoramento e algumas etapas precisam ser melhoradas para garantir um processo contínuo e minimizar as perdas de material e outros produtos. As perdas de material não podem ser quantificadas atualmente, pois o processo ainda está em desenvolvimento. É necessário que a atividade atinja um regime permanente e consolidado para que se consiga avaliar com precisão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HUANG, B.; PAN, Z.; SU, X.; AN, L. **Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives.** Power Source. v. 399, p. 274-286, 2018.
2. LI, L.; DUNN, J. B.; ZHANG, X. X.; GAINES, L.; CHEN, R. J.; WU, F.; AMINE, K. **Recovery of metals from spent lithium-ion batteries with organic acids as leaching reagents and environmental assessment.** Journal of Power Source. v. 233, p. 180-189, 2013.
3. LI, L.; GE, J.; WU, F.; CHEN, S.; WU, B. **Recovery of cobalt and lithium from spent lithium-ion batteries using organic citric acid as leachant.** Journal of Hazardous Materials. v. 176, p. 288-293, 2010.
4. TORABIAN, M. M.; JAFARI, M.; BAZARGAN, A. **Discharge of lithium-ion batteries in salt solution for safe store, transport, and resource recovery.** Waste Management & Research. v. 40, n. 4, p. 402-409, 2022.
5. XU, J.; THOMAS, H. R.; FRANCIS, R. W.; LUM, K. R.; WANG, J.; LIANG, B. **A review of processes and technologies for the recycling of lithium-ion secondary batteries.** Journal of Power Source. v. 177, p. 512-527, 2008.
6. YAO, L. P.; ZENG, Q.; TING, Q.; LI, J. **An environmentally friendly discharge technology to pretreat spent lithium-ion batteries.** Journal of Cleaner Production. v. 245, p. 1-8, 2020.
7. ZEWEN, Z.; ZHU, Z.; LIN, X.; ZHANG, Y.; HE, Y.; CAO, H. **A mini review on metal recycling from spent lithium-ion batteries.** v. 4, p. 361-370, 2018.