

Revisão do processamento físico na recuperação dos elementos valiosos das baterias de íon-lítio

Ana Luiza Magalhães Stein, Deyber Alexander Ramirez Quintero

analuizastein@outlook.com, dquintero@cti.gov.br

**Divisão de Projetos, Análise e Qualificação de Circuitos Eletrônicos -
DIPAQ**

Centro de Tecnologia da Informação Renato Archer

***Abstract.** With the increase in the use of lithium-ion batteries in different applications of mobile devices and electric cars, the need to implement industrial systems for processing the electronic waste, avoiding damage to both the environment and human health, while promoting social and economic development through the recovery of valuable elements that are contained in these residues. This article presents a summary of the physical processing of lithium-ion batteries, aiming to develop a basis for the development of a technological route for the recovery of valuable elements from lithium-ion batteries, which can be offered and implemented in the business and industrial sector. from the country.*

Resumo. Com o aumento do uso das baterias de íon-lítio nas diferentes aplicações dos aparelhos móveis e os automóveis elétricos, se faz evidente a necessidade de implementar sistemas industriais para o processamento dos resíduos eletroeletrônicos gerados, evitando os prejuízos tanto para o meio ambiente quanto na saúde humana, enquanto se impulsiona o desenvolvimento social e econômico através da recuperação dos elementos valiosos que estão contidos nesses resíduos. Este artigo apresenta um resumo do processamento físico de baterias de íon-lítio, visando elaborar uma base para o desenvolvimento de uma rota tecnológica para a recuperação dos elementos valiosos das baterias de íon-lítio, que possa ser oferecida e implantada no setor empresarial e industrial do país.

1. Introdução

A utilização das baterias de íon-lítio vem seguindo uma tendência de crescimento global no mercado de eletroeletrônicos desde a década de 90 (Ariyoshi, 2023). Alguns dos motivos para tal aumento são sua alta densidade energética, grande durabilidade e maior segurança com relação às outras baterias (Li *et al*, 2016). Uma vez que a bateria de íon-lítio é considerada mais “verde” que os outros tipos de baterias (Lu *et al*, 2013), existe uma grande expectativa da indústria de que o investimento nesta classe de baterias gere menor impacto ambiental e melhor atendimento ao público (Gaines, 2014). Estima-se que, em 2022, no Brasil, 424 milhões de dispositivos digitais - computadores, notebooks, tablets e smartphones -, utilizando BL, foram comercializados no país (Fundação Getúlio Vargas, 2020).

As baterias de íon-lítio são majoritariamente compostas por células intercaladas, cada célula contém eletrodos (cátodo e ânodo), separadores, envoltos por uma camada metálica e/ou polimérica (Gratz *et al*, 2014). Os cátodos são, comumente, compostos por óxidos de metal de transição de Li, enquanto os ânodos são à base de carbono (Woo *et al*, 2016). Com essa composição mais complexa que a de outras baterias - como a de chumbo-ácido, por exemplo - o processo de reutilização de seus componentes é dificultado. Daí, surge a necessidade de se estudar o método de reciclagem desses materiais cuja eficiência, viabilidade econômica quando em grandes volumes e custo são mais atraentes.

Com a agenda ambiental cada vez mais em alta nas discussões atuais, vem se tornando necessária a discussão sobre como reutilizar, reciclar e processar esses resíduos para recuperar os seus elementos valiosos: cobalto, lítio, manganês, e níquel, entre outros (Meshram *et al*, 2020), de forma que ambos os problemas, o tratamento dos resíduos eletrônicos e a obtenção dos elementos para sua produção, sejam harmonizados. A utilização de processos industriais na recuperação dos elementos que compõem essas baterias é de fundamental importância para que seja possível diminuir o resíduo eletrônico gerado, evitando a sobrecarga na mineração de novos metais (Zhao *et al*, 2022).

Este trabalho se apoia em uma base experimental, visando aportar elementos que determinem uma rota para o processamento industrial das baterias de íon-lítio. Para atender às demandas industriais, o processo não só deve ser economicamente rentável, como também deve atender a normativa ambiental e laboral, devido ao fato de que o processamento destas baterias pode gerar efeitos prejudiciais tanto para o meio ambiente quanto para a saúde humana - o que fomenta a necessidade de diminuir a participação de mão de obra humana no processo (Shaw-Stewart *et al*, 2013). Dessa forma, este estudo foi pensado para que as etapas do processamento físico das baterias de íon-lítio realizadas possam ser reproduzidas em escala industrial, incentivando a economia circular e impulsando o desenvolvimento social e econômico.

2. Materiais e Métodos

Embora a abertura manual das baterias de íon-lítio seja usada nas diferentes pesquisas experimentais descritas na literatura, neste estudo, apresentamos o processamento físico sem desmontar manualmente as baterias de íon-lítio, através de etapas mecânicas e físicas pois, se são obtidas altas eficiências na recuperação dos elementos valiosos, esse processo poderia ter a possibilidade de ser implementado industrialmente (Yuet *al*, 2021). Foram utilizadas neste estudo baterias descartadas dos fabricantes de baterias de íon-lítio mais usados no mercado brasileiro, totalizando 70 baterias (que corresponde a 2,6 kg de material).

A primeira etapa no processamento físico para o tratamento das baterias de íon-lítio é a descarga. Existem diversas propostas para descarregar simultaneamente grandes quantidades de baterias, algumas delas usam soluções salinas, soluções aquosas, resfriamento criogênico e métodos de descarga térmica (Lu *et al*, 2013). Uma vez que estão devidamente descarregadas, as baterias passam por processo de cominuição, como é possível se observar na Figura 1. Utilizando um triturador de rolos dentados Fragmaq FT150, todas as baterias foram reduzidas a pedaços pequenos (1-4 cm). Observamos que as baterias sofrem um aquecimento durante esse processo, além de exalar gases que

podem ser prejudiciais se inalados por longo tempo, salientando a necessidade de usar equipamento de segurança durante o processo.

Em seguida, esse material foi separado em três amostras. Todas as amostras foram obtidas usando o método do quarteamo- uma técnica para separar a massa em porções iguais e depois reuni-la em amostras compostas por partes homogêneas dessas porções, visando garantir uma distribuição uniforme do material. Duas destas amostras foram levadas para o processo de moagem, a fim de diminuir o tamanho do material. A terceira amostra será utilizada para analisar sua composição química, através da técnica de espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), que consiste na aplicação de uma fonte de plasma à alta temperatura, em uma câmara de pressurização à vácuo, onde há o excitação dos elétrons até a emissão de fótons, permitindo analisar e identificar os elementos de composição dessa amostra.

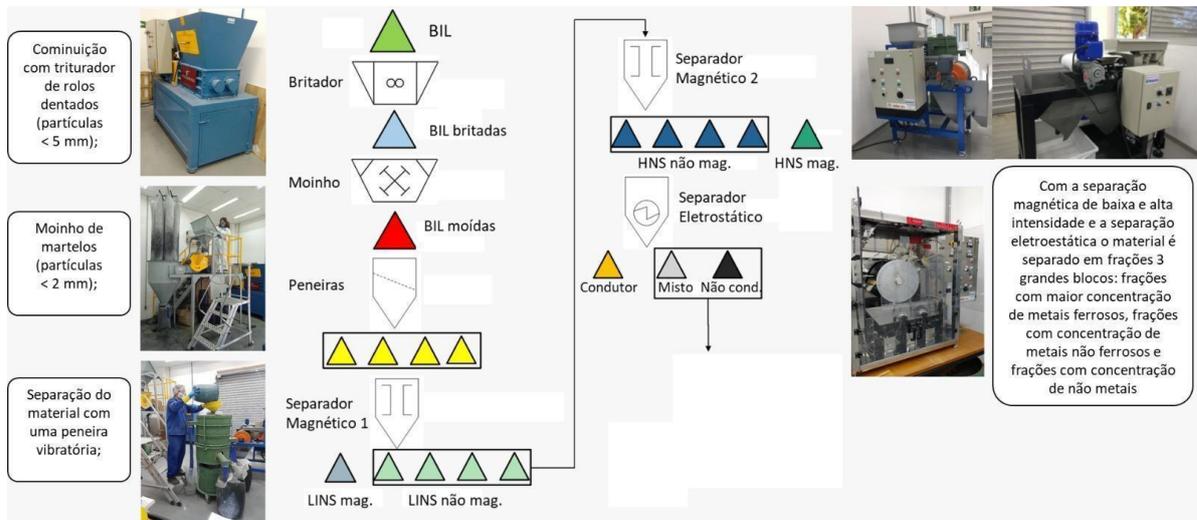


Figura 1: Diagrama do processo utilizado para tratar as baterias, separando seus componentes.

Em seguida, as tiras de baterias foram levadas à um moinho de martelos AstecmaMMU 350E (e peneira de 2 mm de orifício), de forma que se gerasse uma massa de partículas menores, contendo os plásticos, metais, polímeros e outros componentes das baterias. Nesse moinho, os martelos quebram o material com o impacto até que seu tamanho seja diminuto o suficiente para atravessar a peneira de

tamanho escolhido. Na moagem, alguns componentes não foram bem reduzidos, como as folhas dos separadores do cátodo e do ânodo, os plásticos e os polímeros. A finalidade desse processo é garantir que os materiais sejam suficientemente pequenos, a fim de garantir o sucesso das etapas de separação. Tanto na cominuição quanto na moagem, notamos a fácil dispersão do material no ambiente, devido ao seu tamanho; deve-se ter ciência para proteger o ambiente ao redor e as pessoas expostas. Com a massa final obtida, iniciamos a etapa de separação das amostras 1 e 2.

Na continuação, utilizamos as separações mecânicas, elétricas e magnéticas de baixa e alta intensidade, na intenção de encontrar a seção com a predominância de componentes desejados. Primeiramente, foi feita uma separação mecânica: o material foi separado em sete frações através de um peneirador vibratório Rotopen 300SL, com aberturas de peneira de; 2 mm, 1,18 mm, 850 μm , 600 μm , 300 μm e 150 μm , como é possível ver na Figura 2. Esse procedimento foi repetido para as amostras 1 e 2. Apesar da variação no tamanho das peneiras utilizadas ter sido grande, percebemos que haveria um melhor resultado caso peneiras com aberturas ainda menores fossem utilizadas, visto que o material resultante é um pó fino onde os metais ficam expostos.

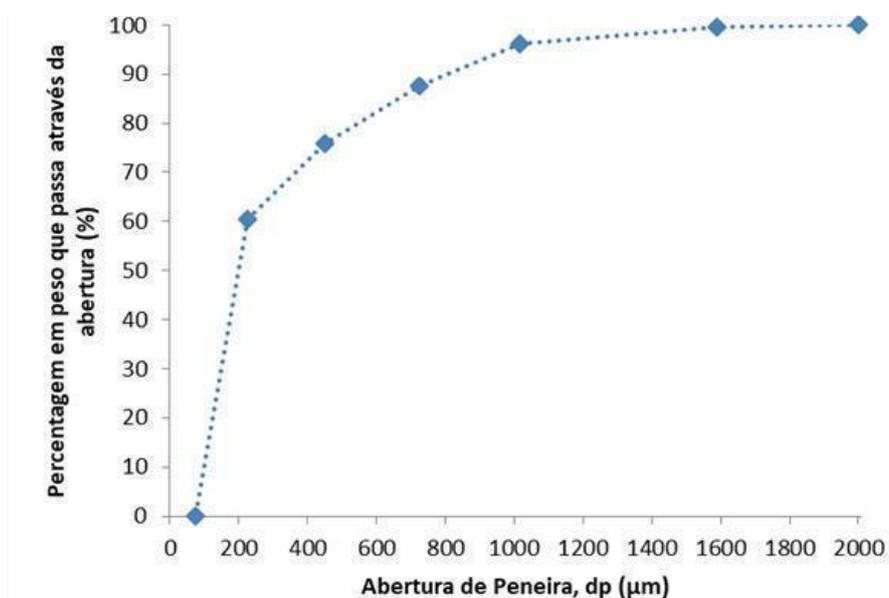


Figura 2: Distribuição granulométrica do material triturado.

A separação magnética de baixa e alta intensidade consiste em um campo eletromagnético aplicado ao material, em que a baixa intensidade separa minerais com alta susceptibilidade ao magnetismo, enquanto a alta intensidade é responsável pela separação em minerais com baixa susceptibilidade ao campo. Esse processo requer um estudo mais aprofundado para melhor entender qual o ângulo do instrumento é mais adequado para separação, dependendo do tamanho do material utilizado.

3. Considerações finais

Diante do exposto, considera-se essencial a expansão do estudo do processamento físico, que através da constante análise dimensional do tamanho de partícula durante a moagem e a separação magnética e eletrostática, permita determinar as condições mais apropriadas para encontrar a maior concentração dos elementos de interesse, facilitando a separação destes elementos nas etapas posteriores. Embora existam outros métodos de processamento físico para a extração dos materiais valiosos, é válido afirmar que, após o discutido, considera-se que o processo estudado é consistente com as diretrizes industriais e passível de diminuição de custo frente a outras metodologias, e por consequência, pode evitar o prejuízo à saúde humana e ao meio ambiente.

Ainda assim, existem variáveis que devem ser consideradas na continuidade das atividades, antes de aplicar esse processo industrialmente. Encontramos que existe a necessidade de peneiras mais finas, em razão do tamanho dos materiais trabalhados após moagem. Ademais, os próximos passos envolvem a análise mais aprofundada dos elementos químicos concentrados nas separações magnéticas de baixa e alta intensidade, assim como na separação eletrostática. Esses estudos auxiliarão a encontrar o tamanho de partícula e separação granulométrica que permitam obter as porções que contém a maior concentração dos metais desejados.

Por fim, é válido ressaltar que o processamento físico tenta concentrar, os elementos valiosos, de forma que as etapas seguintes do processo de separação dos materiais seja facilitado e focalizado; este procedimento por si só não é capaz de reinserir os materiais no ciclo de reciclagem das baterias íon-lítio; no entanto, torna

mais distinguíveis os tamanhos nos quais os processos futuros atuarão - como tratamentos térmicos, químicos e refinamentos, a fim de efetivamente separar esses elementos e torná-los utilizáveis como matéria-prima da indústria de baterias recarregáveis.

4. Referências bibliográficas

- Ariyoshi, Kingo; OHJI, Naoto. (2023) “Synthesis and Characterization of W-Nb Oxides (WO₃-Nb₂O₅) for Large-Volumetric-Capacity Negative Electrodes”, *ACS Applied Energy Materials*, v. 6, n. 14, p. 7497-7508.
- Fundação Getúlio Vargas. (2020). Brasil tem 424 milhões de dispositivos digitais em uso, revela a 31ª Pesquisa Anual do FGVcia | Portal FGV. <https://portal.fgv.br/noticias/brasil-tem-424-milhoes-dispositivos-digitais-uso-revela-31a-pesquisa-anual-fgvcia>
- Gaines, Linda. (2014) “The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course”, *Sustainable Materials and Technologies*, v. 1-2, p. 2–7.
- Gratz, E., Sa, Q., Apelian, D., & Wang, Y. (2014) “A closed loop process for recycling spent lithium ion batteries”, *Journal of Power Sources*, v. 262, p. 255–262.
- Li, J., Wang, G., & Xu, Z. (2016). “Generation and detection of metal ions and volatile organic compounds (VOCs) emissions from the pretreatment processes for recycling spent lithium-ion batteries”, *Waste Management*, v. 52, p. 221–227.
- Lu, M., Zhang, H., Wang, B., Zheng, X., & Dai, C. (2013) “The re-synthesis of LiCoO₂ from spent lithium ion batteries separated by vacuum-assisted heat-treating method”, *International Journal of Electrochemical Science*, v. 8, n. 6, p. 8201–8209.
- Meshram, P., Mishra, A., Abhilash, & Sahu, R. (2020) “Environmental impact of spent lithium ion batteries and green recycling perspectives by organic acids – A review”, *Chemosphere*, v. 242, p. 125291.
- Shaw-Stewart, J., Alvarez-Reguera, A., Greszta, A., Marco, J., Masood, M., Sommerville, R., & Kendrick, E. (2019) “Aqueous solution discharge of cylindrical lithium-ion cells”, *Sustainable Materials and Technologies*, v. 22, p. e00110.

- Woo, H., Kang, J., Kim, J., Kim, C., Nam, S., & Park, B. (2016) “Development of carbon-based cathodes for Li-air batteries: present and future”, *Electronic Materials Letters*, v. 12, p. 551-567.
- Yu, D., Huang, Z., Makuza, B., Guo, X., & Tian, Q. (2021) “Pretreatment options for the recycling of spent lithium-ion batteries: A comprehensive review”, *Minerals Engineering*, v. 173, p. 107218.
- Zhao, Y., Kang, Y., Fan, M., Li, T., Wozny, J., Zhou, Y., & Li, B. (2022) “Precise separation of spent lithium-ion cells in water without discharging for recycling”, *Energy Storage Materials*, v. 45, p. 1092-1099.