

## **Baterias de íon-lítio como fonte de matéria-prima secundária**

**Natalia Jacomaci (CTI) [natalia.jacomaci@cti.gov.br](mailto:natalia.jacomaci@cti.gov.br)**

### **Resumo**

*Esse artigo apresenta fatos importantes que provocaram mudanças no modelo de sociedade e consequentemente possibilitaram que a manutenção e o desenvolvimento contínuo da tecnologia fossem essenciais para sustentar o estilo de vida atualmente. Também apresenta questões que levam as autoridades recorrerem a conceitos de desenvolvimento sustentável que é regulamentado por leis. Mostra projeções de mercado baseadas nas tendências atuais de desenvolvimento tecnológico.*

*Palavras-chave: Reciclagem resíduos eletrônicos, Minerais Críticos, Baterias de íon-lítio.*

### **1. Introdução**

#### **Estatísticas**

De acordo com o relatório da ONU, 2022, dados de crescimento populacional revelam que até 2100 a população mundial será de 10,4 bilhões de pessoas. Esse rápido crescimento associado ao avanço tecnológico na indústria, urbanização e consequente desenvolvimento econômico, tem feito com que a utilização de equipamentos elétricos e eletrônicos seja essencial para a manutenção da qualidade de vida. (UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, 2022)

Estimativas têm indicado que o consumo desses equipamentos tem sido de 2,5 milhões de toneladas (Mt) todos os anos. No entanto ao chegarem ao final de sua vida útil, eles são descartados recebendo então um tratamento inadequado e inseguro, por incineração ou sendo acondicionados em aterros sanitários causando a contaminação do solo, água e do ar, além de bioacumulação de contaminantes na cadeia alimentar representando desafios significativos para o meio ambiente, a saúde humana e o cumprimento dos objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS). (LUO et al., 2011; RAUTELA et al., 2021)

De acordo com relatório global de monitoramento de resíduos eletrônicos global, entre 2014 e 2019 houve um aumento de 9,2 Mt de resíduos eletrônicos gerados, passando de 44,3 para 53,6 Mt de lixo eletrônico. Considerando a taxa anual de crescimento de 2 Mt, a projeção para 2030 girará em torno de 74,7 Mt. O valor bruto dos materiais eletrônicos gerados globalmente em 2019 foi de aproximadamente US\$ 57 bilhões de dólares. (FORTI et al., 2020)

#### **Economia Circular e as Diretrizes de REEE**

O reaproveitamento de resíduos eletrônicos como materiais secundários é imprescindível para o desenvolvimento sustentável e está inserido no contexto da economia circular, que por sua,

é o conceito que cria uma nova economia através de um melhor reaproveitamento de recursos naturais, gerando novos modelos de negócios e empregos, linhas de desenvolvimento científico, empresas especializadas apenas em reciclagem de resíduo, trazendo grandes benefícios econômicos, sociais e ambientais.

Apesar de haver grande interesse nos recursos minerais, a obtenção desses por vias legais e ambientalmente corretas, mesmo que sejam rentáveis, não são tão definidas, sendo comumente praticados casos de reciclagem informal desses resíduos. (WANG; QIAN; LIU, 2020) De acordo com dados último relatório de 2020 de monitoramento global de resíduos eletroeletrônicos, 78 dos 193 países estão debaixo de leis que regulamentam a gestão dos resíduos eletrônicos. (FORTI et al., 2020) No cenário atual, sem meios para frear o crescimento exponencial de resíduos eletroeletrônicos, chegaremos a níveis críticos de escassez de matéria-prima, além do grande impacto ambiental causado por atividades de mineração convencional. Assim, para fomentar, os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), uma ação de extensão global, se faz necessário adotar ações de ordem política.

Nesse contexto, o instrumento que torna necessário adotar o desenvolvimento da economia circular no contexto de resíduos eletrônicos é a logística reversa. Diretivas como a “*WEEE – Waste Electrical and Electronic Equipment Directive*” implantada pela União Europeia é um modelo de logística reversa que torna a responsabilidade compartilhada entre indústria, comércio e consumidor possibilitando implantar o sistema de coleta e tratamento de resíduos eletroeletrônicos. Vários países têm seu conjunto de instruções para a execução de um plano, que varia de acordo com fatores como nível de desenvolvimento econômico, densidade populacional e extensão territorial. (DEMAJOROVIC; AUGUSTO; DE SOUZA, 2016)

No Brasil, a Lei 12.305/2010 regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que, dispõe sobre as diretrizes da gestão integrada e gerenciamento de resíduos sólidos e obriga a implantação de sistemas de logística reversa nas empresas fabricantes, importadores, distribuidores e comércio varejista de produtos tóxicos e tecnológicos, garantindo o retorno dos produtos, após o uso pelo consumidor, para a cadeia produtiva ou dando destino ambientalmente adequado. Em última atualização, o decreto federal nº 10.936/2022 em janeiro de 2022, remete ao poder público a elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares), o Programa Nacional de Logística Reversa Integrada ao Sistema Nacional de Informações sobre Gestão de Resíduos Sólidos (SiNIR), que representa grandes mudanças para a econômica circular. (BRASIL, 2022)

### **Minerais Estratégicos e a Logística Reversa**

A reciclagem de minerais contidos em resíduos eletroeletrônicos sofre grande influência comercial, assim, quando há alta demanda e escassez da matéria-prima, há alta dos preços, tornando as atividades comerciais, de exploração, mineração, refino, substituição e reciclagem mais atrativas, no entanto, se os preços forem baixos, comprometem investimentos futuros por se tornarem menos atrativos. (XAVIER; OTTONI, 2021)

Planos estratégicos do governo, tais como PNM 2030, mencionam que os minerais considerados estratégicos são recursos minerais escassos, essenciais ou críticos para um País (PNM, 2011). Assim, são consideradas 3 situações:

1) importação para o suprimento de setores vitais da economia

2) minerais que deverão crescer em importância nas próximas décadas em produtos de alta tecnologia cujo interesse de países desenvolvidos está tanto no material bruto quanto no beneficiado, por exemplo as terras raras, lítio, cobalto.

3) minerais com grandes reservas que promovem a economia do país devido às exportações

O Programa de Mineração e Desenvolvimento (2018-2023) menciona 15 elementos de interesse para o Brasil: nióbio, níquel, cobalto, lítio, cobre, enxofre, grafite, silício, tântalo, terras raras, titânio, tungstênio, urânio, vanádio e zinco.

### **Prospecção de minerais de baterias de íon-lítio**

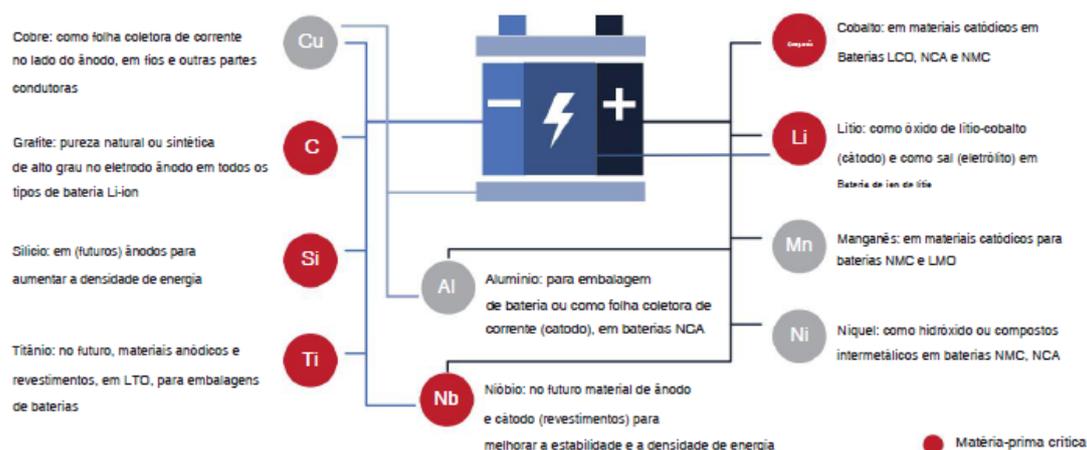
Em relatório da União Europeia, as cadeias de suprimentos das nove tecnologias nos setores estratégicos de energia renovável, mobilidade, defesa e aeroespacial foram avaliadas, e foi possível observar que a tecnologia de baterias de íon-lítio está sendo implantada rapidamente para a mobilidade elétrica e o armazenamento de energia para geração intermitente de eletricidade. (BOBBA et al., 2020)

As baterias de íons lítio são consideradas como uma alternativa para compor grande parte da matriz energética mundial. Devido a sua alta eficiência eletroquímica, sua utilização tem sido crescente em dispositivos eletrônicos e também em veículos elétricos. (ALIPANAH et al., 2021)

Alguns fatos relevantes tornam a utilização de baterias promissoras, um deles é reduzir a utilização de fontes de energias à combustão, contribuindo para a redução do aquecimento global, aumento e grande utilização de veículos elétricos até 2030, necessidade de obter sistemas de armazenamento de energia mais eficientes para geradores de energia solar e mecânica, como os sistemas fotovoltaicos, piezoelétricos e eólicos.

### **Baterias de íon-lítio**

Grande parte da matéria-prima das baterias está concentrada em dois eletrodos que compõem as células da bateria. O eletrodo negativo (ânodo) é composto por um filme de cobre coberto com uma camada de grafite e o eletrodo positivo (cátodo) é composto por uma camada de alumínio coberto com óxido semiconductor que caracteriza o tipo de bateria, como por exemplo, óxido de lítio e cobalto (LCO). Para aderir tanto a camada de grafite no eletrodo negativo, quanto a camada do semiconductor no eletrodo positivo é utilizada uma cola de poli (fluoreto de vinilideno) (PVDF), que normalmente é usada para aumentar a aderência entre o material ativo e a camada de alumínio. Os eletrodos são então imersos em uma mistura eletrolítica contendo solvente e um sal de lítio que servem como meio condutor para o transporte de cargas entre os dois eletrodos e posteriormente são envelopados em um invólucro plástico para isolar os polos evitando curto-circuito. (LOMBARDO et al., 2021) A Figura 1 ilustra as matérias-primas utilizadas em baterias de íon-lítio.



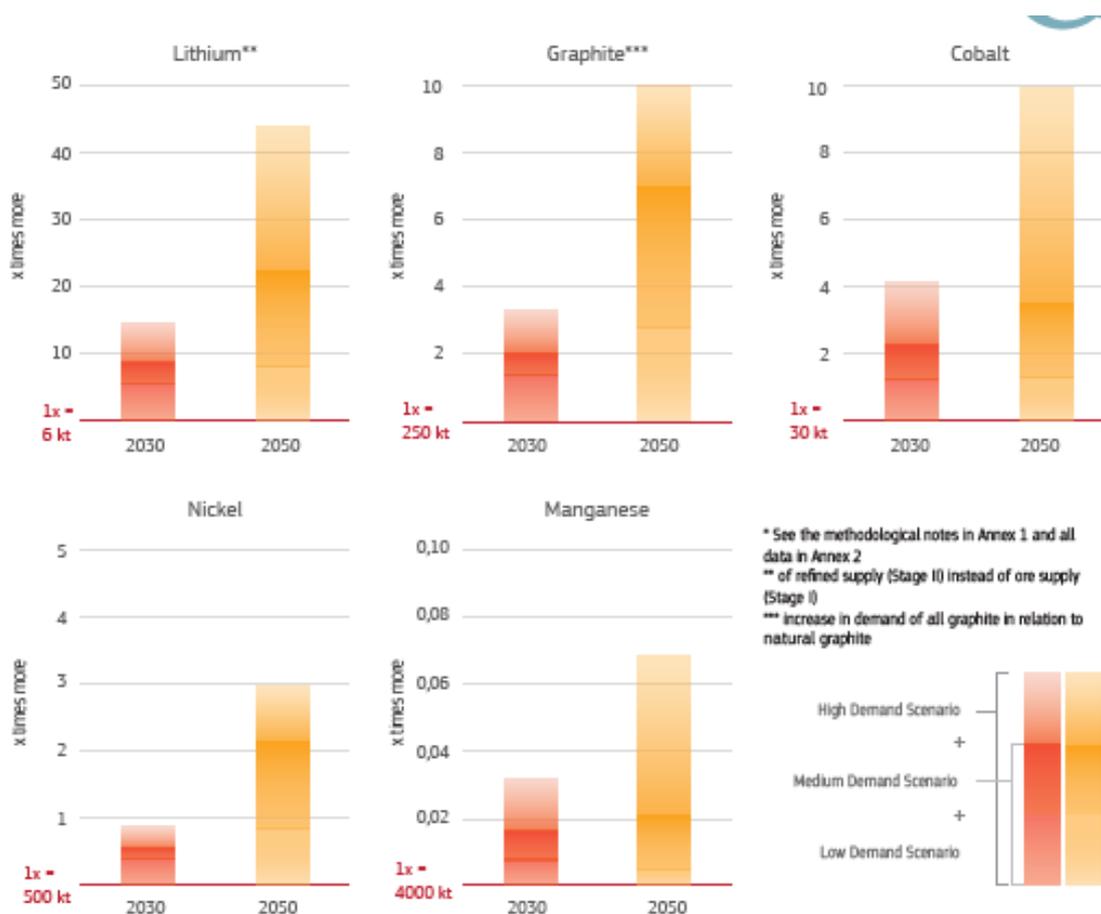
Fonte: European Commission, *Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study*, 2020 (adaptado)

Figura 1: Matérias-primas utilizadas em baterias

Os principais cátodos de baterias de íon-lítio têm aplicações específicas. Dentre elas LCO – óxido de cobalto e lítio, LFP – fosfato de ferro e lítio, NMC – óxido de cobalto manganês níquel e lítio, NCA – óxido de alumínio cobalto níquel lítio, LMO – óxido de manganês e lítio. (BOBBA et al., 2020) Em termos de quantidade de massa de cada componente das baterias, tem sido um processo complexo, uma vez que cada fabricante tem sua patente para melhorar a eficiência e segurança de sua bateria. Analisando a composição de baterias de alguns fabricantes, foi observado que um fabricante possuía a mistura de dois tipos de cátodos. Também, foi verificado que a bateria com a mistura LCO/NMC continha 41% de catodo, em NMC (26%) e LFP (25%). (GOLUBKOV et al., 2013) Baterias de LMO – grafite (24,4%) e LMO –  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (28,3%), NCA – grafite (24,8%) LCO (40%). (GAINES et al., 2011).

## Projeções

Acredita-se que até 2050 os principais componentes da linha de produção das baterias como lítio, cobalto, grafite, níquel, e manganês aumentarão em mais de 50% a produção atual, como está ilustrado na figura 2, se tornando um material crítico para produção tecnológica.



Fonte: European Commission, *Critical materials for strategic technologies and sectors in the EU - a foresight study*, 2020

Figura 2: Prospecção de minerais até 2050

Globalmente a capacidade projetada para a produção de baterias irá aumentar quatro vezes de 2021 a 2025 com isso e com isso 700.000 toneladas de baterias de lítio chegarão ao fim de sua vida útil. (MELIN, 2018) Associado a outras tecnologias já existentes utilizadas em dispositivos eletroeletrônicos portáteis, se observa como grande tendência mundial, a substituição de veículos de transporte à combustão por veículos elétricos. Esse rápido crescimento irá aumentar ainda mais a utilização dessas baterias, uma vez que, veículos de uma quantidade maior de baterias, conseqüentemente, de massa, resultando em toneladas de baterias sendo descartadas.

A grande preocupação no longo prazo que impulsionam o desenvolvimento de rotas de recuperação desses metais são as tensões econômicas causadas pela distribuição desigual desses recursos, além das questões ambientais relacionadas à extração de matéria-prima. Grande parte das instalações existentes foi construída para a produção de baterias de íon-lítio, no entanto, como mencionado anteriormente, as projeções podem variar de acordo com tendências de mercado. Atualmente, os fabricantes têm desenvolvido suas próprias composições de baterias LFP, LMO, NMC, NCA que são estruturas cristalinas com mais de

uma composição química, elevando o interesse por metais como manganês, níquel, alumínio que possuem menor valor agregado, baixo incentivo de mineração urbana e poucas instalações de reciclagem. (OR et al., 2020)

## 2. Conclusão

Podemos concluir que a temática reciclagem de baterias tem grande relevância mundial. Existem questões ambientais e de saúde pública que estão intimamente relacionadas à questão do aumento exponencial de descarte de resíduo de baterias, porém a alta demanda tecnológica impulsionada pela industrialização, urbanização e acelerado crescimento populacional, traz questões econômicas de riscos de fornecimento de minerais estratégicos tanto no mercado nacional quanto no mundial que poderiam paralisar as atividades comerciais se não houvesse como dar continuidade ao estilo de vida i qual nós alcançamos até os dias de hoje. Por isso, o conceito de economia circular e logística reversa tem sido regulamentado por diversos países e tem sido responsável por ditar procedimentos necessários para dar utilidade ao resíduo gerado tornando a recuperação de metais item estratégico à cadeia de produção. Vale ressaltar que as projeções podem variar de acordo com as tendências de mercado ditadas pelo avanço tecnológico.

## Referências

- ALIPANAH, M. et al. Value recovery from spent lithium-ion batteries: A review on technologies, environmental impacts, economics, and supply chain. **Clean Technologies and Recycling** 2021 2:152, v. 1, n. 2, p. 152–184, 2021.
- BOBBA, S. et al. **Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - a Foresight Study**. [s.l: s.n.].
- BRASIL. **DECRETO Nº 10.936, DE 12 DE JANEIRO DE 2022. Ementa: Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos** Brasília, DF palácio do Planalto, , 2022. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/decreto/d10936.htm)>
- DEMAJOROVIC, J.; AUGUSTO, E. E. F.; DE SOUZA, M. T. S. Reverse Logistics of E-waste in developing countries: Challenges and prospects for the Brazilian model. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 117–136, 2016.
- FORTI, V. et al. **The Global E-waste Monitor 2020 Quantities, flows and the circular economy potential 2020**. Bonn, Geneva and Rotterdam: [s.n.].
- GAINES, L. et al. Life-Cycle Analysis of Production and Recycling of Lithium Ion Batteries. <https://doi.org/10.3141/2252-08>, n. 2252, p. 57–65, 2011.
- GOLUBKOV, A. W. et al. Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. **RSC Advances**, v. 4, n. 7, p. 3633–3642, 2013.
- LOMBARDO, G. et al. Comparison of the effects of incineration, vacuum pyrolysis and dynamic pyrolysis on the composition of NMC-lithium battery cathode-material production scraps and separation of the current collector. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 164, p. 105142, 1 jan. 2021.
- LUO, C. et al. Heavy metal contamination in soils and vegetables near an e-waste processing site, south China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, n. 1, p. 481–490, 15 fev. 2011.
- MELIN, H. E. The lithium-ion battery end-of-life market—A baseline study. **World Economic Forum: Coligny, Switzerland**, v. 2018, p. 1–11, 2018.

OR, T. et al. Recycling of mixed cathode lithium-ion batteries for electric vehicles: Current status and future outlook. **Carbon Energy**, v. 2, n. 1, p. 6–43, 2020.

RAUTELA, R. et al. E-waste management and its effects on the environment and human health. **Science of The Total Environment**, v. 773, p. 145623, 15 jun. 2021.

UNITED NATIONS DEPARTMENT OF ECONOMIC AND SOCIAL AFFAIRS, P. D. **World Population Prospects 2022: Summary of Results**. New York: [s.n.].

WANG, K.; QIAN, J.; LIU, L. Understanding Environmental Pollutions of Informal E-Waste Clustering in Global South via Multi-Scalar Regulatory Frameworks: A Case Study of Guiyu Town, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 2020, Vol. 17, Page 2802, v. 17, n. 8, p. 2802, 2020.

XAVIER, L. H.; OTTONI, M. **Mineração Urbana - Conceitos e Análise do Potencial dos Resíduos Eletroeletrônicos**. 1º ed. ed. Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia Mineral, CETEM/MCTI: [s.n.].