

LÍTIO: UM ELEMENTO ESTRATÉGICO PARA UMA ECONOMIA DE BAIXO CARBONO LITHIUM: A STRATEGIC ELEMENT FOR A LOW CARBON ECONOMY

Brigido, C. R. dos S¹, Rosales, G. D.², Batista, B. T.¹, Braga, P. F. A.¹

¹Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), Av. Pedro Calmon, 900 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-908, Brasil.

²Laboratório de Metalurgia Extractiva y Síntesis de Materiales (MESiMat), Instituto Interdisciplinario de Ciencias Básicas (ICB), UNCUYO-CONICET, FCEN, Argentina.
crdsantos@cetem.gov.br

RESUMO

A redução da emissão de gases para a atmosfera até 2030, acordado entre os países signatários da COP26^[1], têm levado a uma corrida por matrizes energéticas mais limpas e conseqüentemente por novos modelos de mobilidade urbana, os veículos elétricos (EV's). Neste contexto, o lítio se destaca como elemento chave para uma transição energética visando uma economia de baixo carbono. As baterias de íon-Li têm alta densidade de energia, alta voltagem e descarga constante durante o ciclo operacional, tendo uso crescente em sistemas para acumulação de energia (ESS, *grid storage*) e fundamentais para armazenamento de energia fotovoltaica e eólica. O lítio pode ser encontrado, principalmente, em depósitos de salmouras ou de rochas pegmatíticas, dentre os minerais que contêm lítio em sua composição estão a Amblygonita (LiAl(PO₄)(F,OH)), Lepidolita (K(Li,Al₃)) / (Si,Al₄O₁₀(F,OH)₂), Petalita (LiAl(Si₄O₁₀)) e Espodumênio (LiAl(Si₂O₆)), sendo o último o mineral que contêm maior concentração teórica de Li₂O com 8,0%. Os principais compostos para a produção dos cátodos das baterias de íon-Lítio são o carbonato de lítio (Li₂CO₃) e o hidróxido de lítio (LiOH), e precisam de uma pureza igual ou acima de 99,5% e 56,5%, respectivamente^[2]. Atualmente Austrália, Chile, China e Argentina lideram a produção mundial de lítio, contabilizada em termo de LCE (Lithium Carbonate Equivalent)^[3]. O mercado mundial de lítio estimado para o ano de 2023 é de 964.000t de LCE^[4]. O presente trabalho visa enfatizar o aumento da demanda pelo consumo por baterias de íon-lítio, necessárias para uma economia de baixo carbono, associado à mobilidade urbana onde vem pressionando de forma significativa o aumento dos preços de elementos como lítio, cobalto, manganês, cobre e níquel, utilizados para fazerem vários tipos de baterias como as Lítio, Manganésio e Óxido de Níquel (LMNO), Níquel, Cobalto e Manganês (NCM) e Níquel, Cobalto e Óxido de Alumínio (NCA+), cada um com distintas propriedades.

Palavras Chaves: Baterias íon-Li, veículos elétricos, minerais estratégicos.

ABSTRACT

The reduction of gas emissions into the atmosphere by 2030, agreed between the signatory countries of COP26^[1], has led to a race for cleaner energy matrices and consequently for new models of urban mobility, electric vehicles (EVs). In this context, lithium stands out as a key element for an energy transition towards a low-carbon economy. Li-ion batteries have high energy density, high voltage and constant discharge during the operating cycle, with increasing use in energy storage systems (ESS, *grid storage*) and essential for photovoltaic and wind energy storage. Lithium can be found mainly in deposits of brines or pegmatitic rocks among the minerals that contain lithium in its composition are Amblygonite (LiAl(PO₄)(F,OH)), Lepidolite (K(Li,Al₃)) / (Si,Al₄O₁₀(F,OH)₂), Petalite (LiAl(Si₄O₁₀)) and Spodumene (LiAl(Si₂O₆)), the latter being the mineral containing the highest theoretical

concentration of Li₂O with 8.0%. The main compounds for the production of cathodes in Lithium-ion batteries are lithium carbonate (Li₂CO₃) and lithium hydroxide (LiOH), and need a purity equal to or greater than 99.5% and 56.5%, respectively^[2]. Currently Australia, Chile, China and Argentina lead the world production of lithium, accounted for in terms of LCE (Lithium Carbonate Equivalent)^[3]. The estimated world lithium market for the year 2023 is 964,000t of LCE^[4]. The present work aims to emphasize the increase in demand for consumption of lithium-ion batteries, necessary for a low-carbon economy, associated with urban mobility, which has been significantly pressuring the increase in the prices of elements such as lithium, cobalt, manganese, copper and nickel, used to make various types of batteries such as lithium, manganese and nickel oxide (LMNO), nickel, cobalt and manganese (NCM) and nickel, cobalt and aluminum oxide (NCA+), each with different properties.

keywords: Li-ion batteries, electric vehicles, strategic minerals.

INTRODUÇÃO

A matriz energética mundial é estabelecida sob o regime de consumo de combustíveis fósseis, o que aumenta a emissão de CO₂ para a atmosfera. Para alterar esse cenário, uma mudança na matriz energética global é necessária^[1]. Uma das alternativas de substituição do CO₂ provindo da queima de combustíveis fósseis em automóveis é a utilização de carros elétricos. Os carros elétricos utilizam baterias como fonte de energia e são recarregados em terminais elétricos e tem sido amplamente consumidos por países Europeus.

Um dos obstáculos a serem superados na utilização de baterias íon-lítio são os minerais estratégicos contidos nas baterias, tendo em vista que alguns minérios possuem poucas reservas disponíveis no mundo. Além da extração desses minerais ainda é necessário um amadurecimento científico e tecnológico para a transformação e purificação dos compostos para a produção de diferentes tipos de baterias de íon-lítio.

O conceito de mineral estratégico moderno se refere àqueles minerais considerados importantes para um país, seja por sua abundância ou carência. A Resolução nº 2 de 2021, do Ministério de Minas e Energia, define os minerais estratégicos no Brasil em três categorias: I - Bens minerais dos quais o País depende de importação em alto percentual para o suprimento de setores vitais da economia; II- Bens minerais que têm importância pela sua aplicação em produtos e processos de alta tecnologia; III - Bens minerais essenciais para a economia pela geração de superávit da balança comercial do País. O Brasil por intermédio da Câmara de Comercio Exterior (GECEX), na Resolução nº 92 de 2020, considera os veículos com propulsão fornecida por acumuladores elétricos (NCM 87049000) com 0% de impostos para importação, sendo uma iniciativa para atrair investidores e iniciar um novo modelo de mobilidade para o País. Através da Portaria nº 9.035 de 2021, foi iniciada a rede Made in Brasil Integrado (MiBI) com o objetivo de elevar a competitividade das cadeias produtivas do setor automotivo, permitindo-lhes melhor participação nos mercados local e global. O grupo “GE7” da Rede MiBI é responsável pelas baterias de Lítio. Nesse grupo especial o objetivo geral é a produção, em um período de três (03) anos, de baterias de íons lítio com alto grau de nacionalização para atender à demanda industrial brasileira.

O presente trabalho buscou comparar a venda dos carros elétricos e híbridos (elétricos + combustão), assim como a identificação dos elementos que estão associados ao lítio nas baterias. Nesta perspectiva também foi avaliada o aumento dos preços referente aos minerais estratégicos para a produção da bateria de íon lítio, apontando as vantagens e desvantagens dos distintos tipos de bateria íon-lítio.

METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento da movimentação financeira e tendências dos minerais estratégicos por meios de sites governamentais como United States Geological Survey (USGS), Sistema de Comércio Exterior (SISCOMEX), Department of industry, Science and Resources da Austrália, Cochilco do Ministério de Minería do governo Chileno, além de empresas agregadoras de informações sobre minerais.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Demanda de veículos elétricos e híbridos

As baterias íon-lítio podem ser aplicadas em estações de carga, *Energy Storage System* (ESS) eólico e solar, veículos elétricos, dispositivos eletrônicos e *e-Bikes*. Foram analisados fatores que impactarão o transporte rodoviário nas próximas décadas, e identificou-se que houve uma elevação (>1.000%) na aquisição de carros Plug-in/híbridos (motor elétrico e combustão) e carros 100% elétricos, como é observado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Os autores também apresentaram que os EV's, de todos os tipos, substituíram aproximadamente 3% da demanda total de combustíveis que são direcionados à mobilidade, isso equivale a 1,5 milhão de barris de petróleo/dia, valorizando a mudança da matriz energética de combustíveis fósseis para matrizes mais limpas^[5].

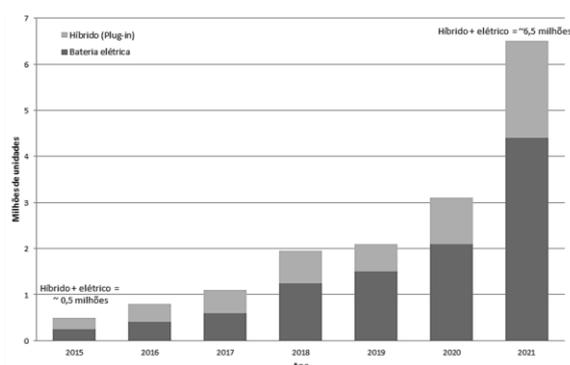


Figura 1. Vendas de carros híbridos e elétricos.

Baterias de íon-lítio e seus os elementos estratégicos

O aumento da demanda por baterias está estimulando a cadeia de suprimentos de elementos como lítio, grafite, manganês, cobalto e níquel. Na Tabela 1 é apresentada a porcentagem de elementos constituintes da bateria e seu local de uso, excluindo materiais do eletrólito, ligante, separador e invólucro e considerando uma bateria com capacidade de 60 kWh e 185 kg^[6]. As baterias de íon-lítio utilizam as propriedades de outros elementos, além do lítio, para inserir diferentes propriedades ao seu desempenho, como a grafite, manganês, níquel, cobre e cobalto. Além desses elementos, o alumínio e o cobre são usados como conectores no cátodo e no ânodo, enquanto o cobalto é incorporado para o aumento da vida útil e densidade de energia, sendo o metal de maior custo para a produção da bateria, por isso, muitas pesquisas vem sendo realizadas para substituí-lo. Dentre os metais que estão presentes nas baterias, o grafite aplicado no ânodo é o de maior proporção com 28,1%, seguido do alumínio com 18,9% que integra os conectores, o cátodo e o revestimento das células. Em menor proporção encontra-se o lítio com 3,2% (6 kg) e o ferro com 2,7% (5 kg), sendo ambos utilizados no cátodo.

Tabela 1. Elementos nas baterias íon-lítio (185 kg e 60 KWh) de veículos elétricos^[6].

Mineral	Porcentagem (%)	Massa (kg)*	Aplicação na bateria
---------	-----------------	-------------	----------------------

Grafite	28,1	52	Ânodo
Alumínio	18,9	35	Conectores, Cátodo, Revestimento da célula.
Níquel	15,7	29	Cátodo
Aço	10,8	20	Revestimento da célula
Cobre	10,8	20	Conectores
Manganês	5,4	10	Cátodo
Cobalto	4,3	8	Cátodo
Lítio	3,2	6	Cátodo
Ferro	2,7	5	Cátodo

Tipos de baterias de íon-lítio

Os materiais que compõem a bateria íon-lítio são aplicados conforme as características desejadas na bateria, pois cada elemento incorporado, principalmente no cátodo, fornece um desempenho diferente ao produto, assim como a proporção do elemento, a exemplo das baterias com cátodo de níquel, cobalto e manganês, NCM do tipo 622 e 111, onde na primeira são encontrados 60% de níquel, 20% de cobalto e 20% de manganês, e na segunda (NCM 111) também se utiliza os mesmos elementos em proporções iguais. Na Tabela 2 são apresentados os principais usos, vantagens, desvantagens e a proporção de lítio (kg.kWh^{-1}) em distintas tecnologias de cátodo^[7]. Sobre as propriedades fornecidas pelos distintos elementos, o grafite permite a intercalação de um grande número de íons lítio em sua estrutura e é utilizado no ânodo, por apresentar baixos potenciais de ionização em relação ao lítio, em contrapartida o silício está sendo avaliado em diferentes projetos de pesquisa como alternativa ao grafite com vistas a ser incluído nos ânodos das futuras gerações de baterias.

O alumínio aumenta as propriedades e o desempenho da bateria, especialmente em termos de densidade de energia, e por ser um elemento abundante na crosta terrestre o torna vantajoso para a expansão industrial. O manganês aplicado em pequenas quantidades melhora o desempenho eletroquímico das baterias, principalmente em termos de densidade energética e segurança. O níquel contribui para obter maior densidade energética e de armazenamento sem custos elevados de obtenção. O cobalto é utilizado como material ativo no cátodo e tem sido um dos principais recursos utilizados nas baterias, pois é um material que aumenta a vida útil da bateria e a densidade de energia graças à estabilidade que proporciona à estrutura durante o carregamento e descarregamento. Contudo as extrações concentram-se principalmente na República do Congo (mais de 70% da produção mundial) em condições controversas de trabalho e proteção ambiental, que foram denunciadas por organizações internacionais, esse fato tem levado muitos players do setor a tentar reduzir sua dependência deste elemento^[8].

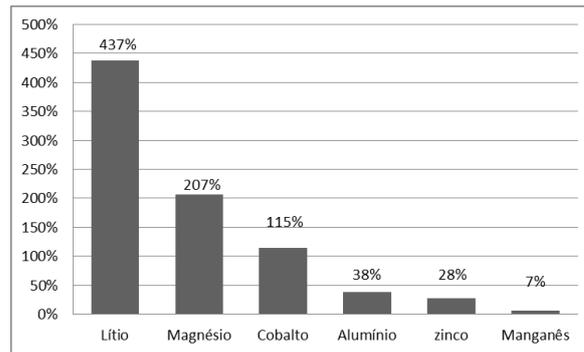
Tabela 2. Tipos de cátodos das baterias íon-lítio, com seus usos, vantagens e desvantagens^[7].

Tipo de cátodo	Principal uso	Vantagens	Desvantagens	Uso de Li (kg/kWh)
Lítio e óxido de cobalto (LCO)	Eletrônicos portáteis;	Alta estabilidade química;	Intensivo uso de cobalto, densidade energética limitada.	0,15
Níquel, cobalto e óxido de alumínio (NCA+)	Veículos elétricos e eletrônicos portáteis;	Alta densidade energética e vida útil;	Menor estabilidade, Menor uso de níquel.	0,16
Níquel, cobalto e manganês (NCM)	Veículos elétricos e eletrônicos portáteis	Custo moderado com alta estabilidade química e vida útil;	Presença do cobalto, menor densidade energética.	0,16

Lítio e óxido de manganês (LMO)	Ferramentas elétricas, <i>e-bikes</i> , <i>scooters</i> e equipamentos médicos.	Alta taxa de carga e alta estabilidade química;	Vida útil limitada, menor capacidade em relação a cátodos baseados em cobalto.	0,16
Lítio, manganês e óxido de níquel (LMNO)	Veículos eléctricos	Alta taxa de carga;	Vida útil limitada	0,15
Lítio ferro-fosfato (LFP)	Armazenamento energético e <i>e-bikes</i>	Baixo custo, alta estabilidade química e vida útil	Densidade energética limitada	0,16

Valorização dos elementos componentes das baterias de íon-lítio

Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentada a valorização dos materiais que compõe as baterias de íon-lítio. A demanda mundial por carros eléctricos impulsionou a extração de lítio e todos os elementos associados às baterias. Em 2022, o lítio aumentou seu valor de mercado em 437% o valor da tonelada, seguido do magnésio com 207%. O cobalto que representa 30% do custo total da produção de uma bateria, também sofreu aumento por volta de 115%. Esses dados trazem um alerta para os players do mercado de baterias que necessitam investir em materiais mais baratos e eficientes para garantir sua produção e manter



o mercado aquecido.

Figura 2. Valorização dos materiais que compõe as baterias de íon-lítio^[8].

Cenário brasileiro no mercado mundial de lítio

No cenário brasileiro o conhecimento geológico mapeado é de apenas 3% em escala 1:50.000 e 26% em escala 1:100.000^[9]. Isso demonstra que o Brasil ainda está investigando possíveis reservas de minério de lítio e outros minerais. Em relação aos minerais estratégicos para a produção de baterias de íon-lítio, o Brasil é exportador global de ferro (2º lugar), grafita (3º lugar) e bauxita (5º lugar), mas dependente externamente de importações de cobalto. Dentre as explorações minerais nacionais, o país também é exportador de níquel, manganês e lítio (minério de espodumênio) e importador de cobre^[9,10]. O Brasil está em estágio de desenvolvimento com novos projetos de lítio, níquel e cobalto. E dentre os players nacionais estão a Companhia Brasileira de Lítio (CBL) com a produção de compostos químicos (Li_2CO_3 e LiOH) voltados principalmente para a produção de graxas lubrificantes. A *Advanced Metallurgical Group* (AMG) com a planta de concentrado de espodumênio com capacidade de produção de 90.000 t/a com 5,5% de Li_2O e a Sigma Lithium também com concentrado de espodumênio e pretensão de produzir 270.000 t/a^[11]. Observada a necessidade de produtos precursores para as baterias, novos players veem surgindo, como Horizonte Minerals com a reativação da refinaria de S. Miguel Paulista (Jervois), a BYD bateria em

Manaus e a Piauí Nickel. Acerca da exploração do cobalto, no Brasil, as minas de níquel com cobalto (Fortaleza de Minas, Americano do Brasil e Niquelândia) estão paralisadas por falta de viabilidade econômica. A refinaria Sable (Zâmbia) produziu, em 2022, 12.000 t/a de cobre e 1.200 t/a de cobalto. A empresa VALE produz 6.000 t/a de cobalto na mina Voisey's Bay, Canadá^[11].

CONCLUSÕES

Diante do aumento das ofertas de veículos elétricos, para a redução da dependência global de combustíveis fósseis, foi percebido que as baterias de íon-lítio têm alavancado o mercado de vários minérios, além de ter incentivado o aumento nos preços de LCE. O Brasil está no mercado internacional com a produção de concentrado de lítio e também busca produzir compostos de lítio (carbonato e hidróxido) para o aumento do preço no produto final. Para isso o país está investigando o seu potencial mineral e incentivando as pesquisas nacionais para desenvolvimento de tecnologias de extração e purificação do minério de lítio.

REFERENCIAS

1. BRASIL, 2015. **Acordo de Paris**. Disponível em: www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf. Acessado em 18 de Maio de 2023.
2. BRUNHARA, G. F. e BRAGA, P.F.A. **Tecnologias de extração de lítio de pegmatitos**. Série Tecnologia Mineral. 2021; 01(104):01-63.
3. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS), 2020. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2023/mcs2023-lithium.pdf> Acessado em: 26 de Maio de 2023.
4. AUSTRALIAN GOVERNMENT. Department of industry, Science and Resources. **Resources and Energy Quarterly, march 2023**. Disponível em: <https://www.industry.gov.au/sites/default/files/2023-04/resources-and-energy-quarterly-march-2023.pdf>. Acessado em: 26 de Maio de 2023.
5. BLOOMBERGNEF, 2021. **Perspectivas de Veículos Elétricos 2022**. Disponível em: <https://about.bnef.com/electric-vehicle-outlook/> . Acessado em: 19 de Maio de 2023.
6. BHUTADA, G. 2022. **The Key Minerals in an EV Battery**. Disponível em: <https://elements.visualcapitalist.com/the-key-minerals-in-an-ev-battery/>. Acessado em: 23 de maio de 2023.
7. COCHILCO DO MINISTÉRIO DE MINERIA DO GOVERNO CHILENO. **El mercado de lítio Desarrollo reciente y proyecciones al 2030**. Disponível em: <https://www.cochilco.cl/Mercado%20de%20Metales/Producción%20y%20consumo%20de%20litio%20hacia%20el%202030%20edición%202021%20versión%20def.pdf> . Acessado em: 23 de maio de 2023.
8. CIC EnergiGUNE, 2023. **Which are the critical materials within the battery industry?** Disponível em: <https://cicenergigune.com/en/blog/critical-materials-battery-industry>. Acessado em: 18 de maio de 2023.
9. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). Relatório de Atividades do Projeto Geobiodisponibilidade de Germânio e Lítio – 2021. Departamento de Gestão Territorial. 2022;01(01):1-31
10. UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Mineral commodity summaries. U.S. Geological Survey. 2022. 01: 100-101. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2022/mcs2022.pdf> . Acessado em: 02 de Junho de 2022;
11. BRASIL MINERAL, 2022. **As maiores empresas do setor mineral**. Disponível em: <https://www.brasilmineral.com.br/maiores/amg>. Acessado em: 19 de Maio de 2023.