

Baterias de fosfato de ferro-lítio versus baterias de lítio ternárias: uma revisão

Deyber Alexander Ramirez Quintero*, Marcos Batista Cotovia Pimentel, Carlos R. Mendes de Oliveira, Sebastiao Eleuterio Filho

Centro de Tecnologia da Informação (CTI) Renato Archer

*deyber.quintero@cti.gov.br

Resumo

O crescente uso dos aparelhos portáteis e o mercado promissor dos veículos elétricos retomou a discussão dos sistemas de armazenamento de energia elétrica, particularmente das baterias. A procura por dispositivos para armazenar energia com maior capacidade de carga, maior número de ciclos de carga e descarga, segurança e eficiência nos ciclos de carga e descarga têm levado as baterias de fosfato de ferro-lítio e as baterias de lítio ternárias a se posicionarem cada vez mais no mercado, substituindo as outras opções. Este artigo apresenta uma comparação entre as duas baterias de lítio, apresentando vantagens e desvantagens, visando aportar elementos na discussão sobre o futuro das pesquisas sobre as baterias e suas aplicações; assim como os aspectos que devem ser considerados para sua reciclagem.

Palavras-chave: Baterias ternárias, baterias de íon lítio, baterias de fosfato de ferro-lítio.

1. Introdução

O mercado das baterias de lítio (LiB) está em constante crescimento, quando se compara as LiB com outros tipos de baterias, estas apresentam vantagens significativas em termos de densidade de energia, vida útil, segurança, potência e custo (Zeng et al., 2019; Meshram et al., 2020; Zhang et al., 2020). Em 2020, cerca de 200 GWh foram usados com LiB nos diferentes dispositivos eletroeletrônicos portáteis, veículos elétricos (EV) e armazenamento de energia no mundo inteiro, estima-se que para o ano 2025 atingirá um consumo de 439 GWh (Fan et al., 2020). Em 2020, tinham-se 10 milhões de EV nas ruas do planeta, os registros dos EV aumentaram 43%, base 2019, e prevê-se que o número total de EV no mundo vai ultrapassar 300 milhões para o 2030 (IEA, 2021; Miao et al., 2022). O Brasil, tornou-se o oitavo maior produtor de automóveis do mundo, com 26 fabricantes no país, depende fortemente do transporte rodoviário, tanto para carga quanto para o transporte de passageiros (Buranelli de Oliveira et al., 2022). Dos 1,98 milhões de novos veículos ligeiros registrados em 2021 no Brasil (79% automóveis de passageiros e 21% veículos comerciais ligeiros), apenas 2.851 foram automóveis elétricos (Yamamura et al., 2022). Embora, o anterior apresenta que o Brasil está numa fase inicial no uso dos EV, os cada vez maiores esforços mundiais por mitigar a emissão de gases de efeito estufa, juntamente ao fortalecimento das políticas públicas ambientais, aumento da conscientização das pessoas com os cuidados com o meio ambiente e ao avanço tecnológico que reduz os custos na produção dos EV; com o passar dos anos, os EV penetrarão no mercado, diminuindo drasticamente o uso dos veículos impulsados por motores que usem combustíveis fósseis (Vargas et al., 2020; Yamamura et al., 2022). Estima-se que em 2022, no Brasil, 424 milhões de dispositivos digitais - computador, notebook, tablet e smartphone - estão em uso no país (Fundação Getúlio Vargas, 2020). Essa grande produção e consumo das LiB se traduz numa grande geração desses resíduos. Os elementos que compõem as LiB descartadas, além de conter quantidades significativas de materiais valiosos, também as categorizam como resíduos perigosos devido a sua composição, com metais pesados e orgânicos tóxicos, gerando um enorme risco ao meio ambiente e à saúde pública, se descartados diretamente ou de forma

inadequada (Meshram et al., 2020; Zhang et al., 2020). Das estimativas da Universidade das Nações Unidas (Forti et al., 2020) para o ano 2019, dos 53.6 milhões de toneladas de resíduo eletrônico gerados em todo o mundo, 2,1 milhão de toneladas destes resíduos foram produzidos no Brasil, o que deixa o país como o 2º maior gerador resíduo eletrônico nas Américas e o 5º o mundo.

Este artigo apresenta elementos de dois tipos de das baterias de lítio: baterias de fosfato de erro-lítio e baterias de lítio ternária, visando elaborar os elementos de estudo para desenvolver uma rota tecnológica para a recuperação dos elementos valiosos dos resíduos eletroeletrônicos, que possa ser oferecida e implantada no setor empresarial e industrial do país. Este trabalho foi desenvolvido dentro das ações do Programa AMBIENTRONIC⁺¹⁰, cooperação entre o Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), coordenado pela DIPAQ/CTI, que desde 2008 desenvolve tecnologias voltadas à sustentabilidade dos produtos eletroeletrônicos, de modo a diminuir o impacto no meio ambiente e à saúde pública, incentivar a economia circular e promover o desenvolvimento socioeconômico.

2. O potencial das baterias de lítio

O sucesso das baterias de lítio destacou a potencialidade do elemento lítio e, ao mesmo tempo, abriu caminho para o desenvolvimento de uma série de novas baterias capazes de atender às solicitações das diversas aplicações (Scrosati, 2011). As vantagens das LIBs incluem alta densidade de energia, longa vida útil, menor manutenção, carga e descarga rápidas, estabilidade estrutural, fabricação fácil e implantação rápida (Nam et al., 2022; Shen & Wang, 2019; Zhao et al., 2021). A eficiência energética de uma bateria pode ser avaliada a partir da comparação das taxas C, razão entre a energia de descarga e a energia de carga (Stan et al., 2014). Por exemplo, uma classificação de taxa C1 significa que a corrente de descarga nominal de 1 A irá descarregar toda a capacidade da bateria em uma hora. Conforme apresentado na Figura 1, a LiB tem quase 100% de eficiência em baixas taxas de C, como mostrado para os tipos fosfato de ferro-lítio (LFP) e óxido de titanato de lítio (LTO). Por outro lado, a eficiência da bateria de chumbo-ácido (VRLA) atinge um pico de 75% e cai para 55% a uma taxa de C de 4. As LiB mostraram uma variação muito pequena em sua eficiência e a bateria de chumbo-ácido é menos eficiente (Keshan et al., 2016).

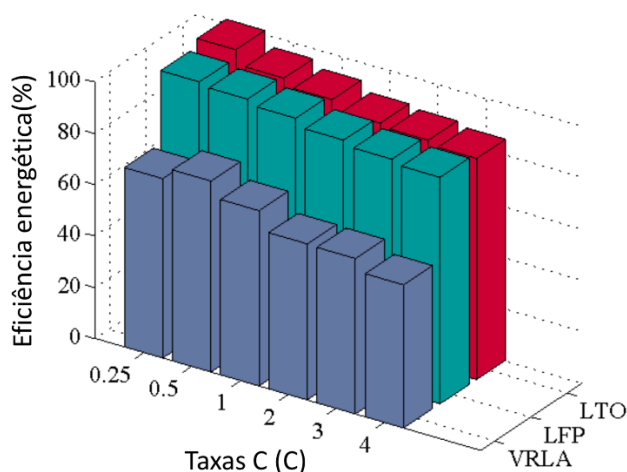


Figura 1. Eficiência energética de diferentes baterias em taxas C a 25°C para baterias de fosfato de ferro-lítio (LFP), óxido de titanato de lítio (LTO) e chumbo-ácido (VRLA) (Stan et al., 2014).

3. Cátodos das baterias de lítio

Conforme mostrado na Figura 2, as LiB contam com compostos de lítio intercalados. Os materiais das LIB são substâncias potencialmente tóxicas e nocivas, incluindo (i) metais (como cobre, níquel e chumbo), (ii) eletrólitos e seus produtos de transformação (como LiPF_6 , LiAsF_6 , LiCF_3SO_3 , HF e P_2O_5) e (iii) solventes (como DME, metanol e ácido fórmico) (Li et al., 2016). Além desses componentes principais, existem outros componentes, como aglutinantes, retardantes de chama, precursores de gel e eletrólitos dissolvidos (Mishra et al., 2018). Normalmente, os materiais ativos do eletrodo são revestidos em uma superfície de folha de metal de Cu (eletrodo negativo) e Al (eletrodo positivo) (Zhou et al., 2014). Atualmente, as baterias comerciais de íons de lítio compostas de ânodos à base de carbono e cátodos de óxido de metal de transição de Li (LiCoO_2 , LiFePO_4 , LiMn_2O_4) estão sendo adaptadas às crescentes demandas de aplicações de alta densidade de energia (Nam et al., 2022).

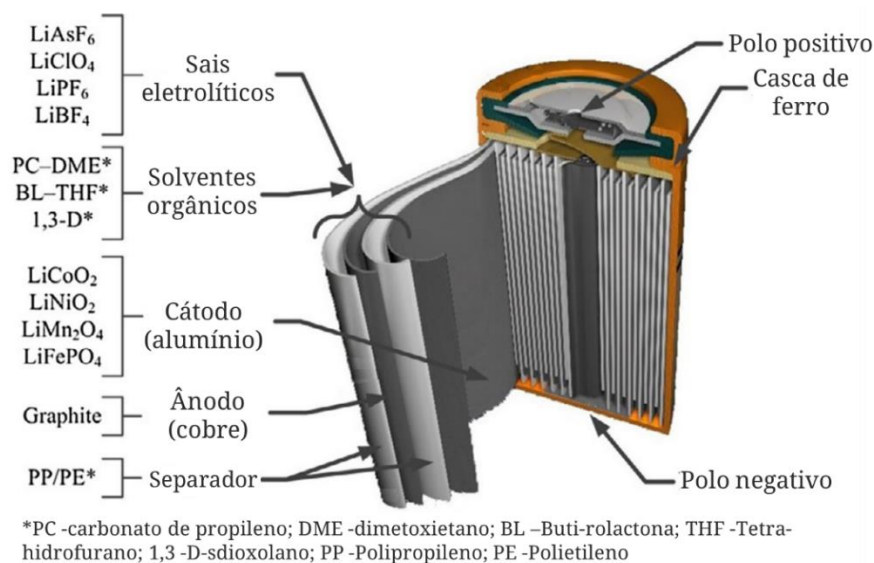


Figura 2. Estrutura e composição de LiB (Li et al., 2016).

Cátodos das baterias ternárias

O material catódico de uma bateria ternária de lítio tem uma estrutura em camadas; os átomos de Ni, Mn e Co e os átomos de oxigênio formam um octaedro MO_6 (Su, 2022), Figura 3 (a). Segundo Su (2022), cada elemento desempenha um papel importante. A presença do cobalto ajuda a manter a camada estável e melhora a condutividade eletrônica (Su, 2022), aumenta a capacidade específica e a capacidade volumétrica, tem baixa auto-descarga, alta tensão de descarga e bom desempenho de ciclagem (Nitta et al., 2015). As principais limitações são o alto custo, a baixa estabilidade térmica e a perda rápida da capacidade em altas taxas de corrente ou durante ciclos profundos (Nitta et al., 2015), além da geração de problemas ambientais (Choi et al., 2020). O níquel também aumenta a capacidade específica e diminui o custo da bateria, mas também apresentam defeitos como baixa taxa de retenção de capacidade e baixa estabilidade térmica (Shen & Wang, 2019; Su, 2022). A insuficiente estabilidade térmica em alto estado de carga (SOC) pode ser melhorada através da dopagem de manganês, a adição de uma pequena quantidade de alumínio pode melhorar a estabilidade térmica e o desempenho eletroquímico (Nitta et al., 2015). O manganês pode também reduzir custos e melhorar a estabilidade e segurança estrutural, mas tem o problema de baixar a densidade de energia da bateria (Choi et al., 2020; Su, 2022); o manganês é menos tóxico que o cobalto e o níquel (Nitta et al., 2015). No entanto, o desempenho do manganês não é satisfatório porque muda a estrutura

crystalina do cátodo e os íons de manganês são solúveis no eletrólito, desestabilizando a interface de eletrólito sólido do ânodo (SEI) (Nitta et al., 2015).

A preparação de materiais de baterias de lítio ternárias não é um processo de reação química única, a estrutura e as propriedades físicas do material podem ser diferentes durante a síntese da estrutura devido às diferentes condições de controle de uma reação química no processo de síntese (Su, 2022).

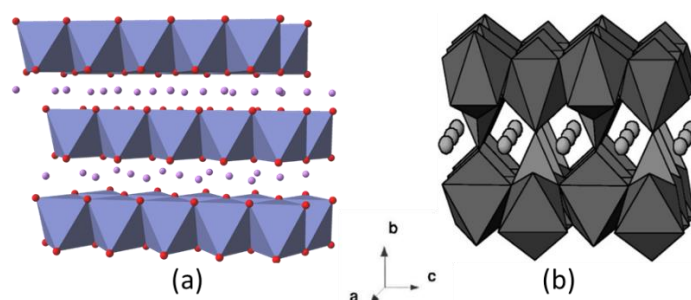


Figura 3. Estrutura do material catódico para (a) bateria de lítio ternária (Richard, 2018) e (b) LiFePO_4 (Satyavani et al., 2016).

Cátodos das baterias de fosfato de ferro-lítio (LiFePO_4)

As estruturas cristalinas dos cátodos das baterias de fosfato de ferro-lítio (LiFePO_4) possuem uma estrutura olivina, grupo espacial ortorrômbico, Figura 3 (b) (Wu, Borong; Ren, Yonghuan; Ning, Li, 2011). O cátodo das LiFePO_4 possuem boa estabilidade de ciclo, excelente estabilidade térmica e longa vida útil (Satyavani et al., 2016). Segundo Wu, Borong; Ren, Yonghuan; Ning, Li (2011) a estrutura das LiFePO_4 consiste em FeO_6 -octaedros e PO_4 -tetraedros, os quais entram em contato compartilhando vértices de oxigênio no plano. Assim, segundo os autores, o FeO_6 -octaedro liga outro PO_4 -tetraedro compartilhando uma borda. Os tetraedros PO_4 não se tocam entre si. Os átomos de lítio estão situados nos vazios intersticiais da estrutura, formando cadeias infinitas ao longo do eixo c em um plano alternado a-c. Os átomos de Fe ocupam cadeias em ziguezague de octaedros compartilhados nos cantos que correm paralelamente ao eixo c nos outros planos ac. Organiza-se em termos de estrutura compactada hexagonal com uma ligeira distorção.

O LiFePO_4 pode ser preparado por métodos baseados em estado sólido e solução (Satyavani et al., 2016). De acordo com Satyavani et al. (2016), as técnicas de estado sólido são realizadas a altas temperaturas sem a adição de qualquer solvente e os métodos baseados em solução são baseados em reações que ocorrem na presença de sistemas solventes apropriados. Os métodos de preparação em estado sólido incluem síntese em estado sólido, ativação mecanoquímica, redução carbotérmica e aquecimento por micro-ondas (Su, 2022). Os métodos de estado sólido são importantes em termos de obtenção de estrutura cristalina ordenada de maneira simples em temperaturas elevadas (Satyavani et al., 2016). Segundo Su (2022), o fosfato de ferro de lítio é obtido por moagem repetida e calcinação das matérias-primas sob alta temperatura e alta pressão. Este método é simples de operar e fácil de realizar a produção industrializada em larga escala, mas o produto geralmente apresenta um desempenho eletroquímico inferior aos demais métodos. A ativação mecanoquímica usa meios de moagem para moer as matérias-primas para sintetizar pó de fosfato de ferro de lítio puro com uma boa estrutura cristalina (Su, 2022).

O método de redução carbotérmica é uma reação de redução de alta temperatura, que utiliza uma fonte de carbono como agente redutor, através do uso do carvão, grafite e outros produtos químicos pirolisados reduz compostos de Fe (II) para obter pó de fosfato de ferro de lítio uniforme e aceitável (Satyavani et al., 2016; Su, 2022). Ao contrário de outros métodos de estado sólido, o aquecimento por micro-ondas é um processo de aquecimento em nível molecular, usa o micro-ondas para aquecer as moléculas das matérias-primas para obter pó de

fosfato de ferro de lítio com boas propriedades eletroquímicas (Satyavani et al., 2016; Su, 2022).

4. Discussão

As características das LiB chamaram a atenção e as colocaram como a tecnologia líder para os setores de transporte, aviação, aeroespacial e armazenamento de energia estacionária (Zeng et al., 2019). Da mesma maneira, as LiB se tornam o coração da geração de veículos impulsados por energias limpas e, na atualidade, estão sendo usadas tanto as baterias de fosfato de ferro-lítio quanto as baterias de lítio ternárias. Na Tabela 1 se comparam os dois tipos de baterias a partir das seguintes características: densidade de energia, segurança, descarga à baixa e alta temperaturas, eficiência de carregamento e vida útil.

Tabela 1. Aspectos característicos das baterias de fosfato de ferro-lítio e as baterias de lítio ternárias (Zeng et al., 2019; Su, 2022; Thompson, 2022).

Característicos	Baterias de lítio ternárias	Baterias de fosfato de ferro lítio
Densidade de energia	A densidade de energia atual é geralmente 150/200Wh/kg. À medida que mais pesquisas e tecnologias amadurecem, poderá chegar a 300Wh/kg no futuro.	A densidade de energia atualmente encontrada no mercado é geralmente em torno de 90/120 Wh/kg, e algumas podem chegar a 130~150 Wh/kg.
Segurança	O cátodo destas baterias começará a sofrer decomposição interna entre 250 e 300 °C.	O cátodo de uma bateria de fosfato de ferro e lítio só sofrerá decomposição interna entre 700 e 800 °C.
Descarga a baixa e alta temperatura	Estima-se que a 25 °C a bateria alcança 100% de sua capacidade relativa. À -20°C, a capacidade desta bateria cai para 70% da apresentada à 25°C. À 55°C, a capacidade desta bateria mantém 99% daquela apresentada à 25 °C.	Estima-se que a 25 °C a bateria alcança 100% de sua capacidade relativa. À -20°C, a capacidade desta bateria cai para 55% da apresentada à 25°C. À 55°C, a capacidade desta bateria mantém 100% daquela apresentada à 25 °C.
Eficiência de carregamento	Ao carregar vinte vezes, à corrente de carga constante, a relação de corrente constante das baterias de lítio ternárias cai para 53%.	Ao carregar vinte vezes, à corrente de carga constante, a relação de corrente constante das baterias de lítio ternárias cai para 10%.
Vida útil	Estas baterias têm 2000 vezes a vida útil teórica de carga e descarga. Após 3900 ciclos de uso, a capacidade da bateria pode ser reduzida para 66%.	Estas ainda podem ter 84% da capacidade da bateria após 5.000 ciclos de uso

O bom desempenho de ciclagem e alta tensão de descarga fizeram das baterias ternárias tipo óxidos de lítio-cobalto (LCO) um das LiB comerciais mais usadas para os veículos elétricos da geração anterior (Zeng et al., 2019). No entanto, segundo Su (2022), a baixa estabilidade térmica das baterias de lítio ternárias torna estas baterias propensas à decomposição interna. O cátodo decomposto reagirá rapidamente para gerar muito calor depois de alcançar o eletrólito e os materiais de carbono. No caso de um impacto externo, o separador entre o cátodo e o anodo destas baterias é facilmente danificado e causaria um curto-circuito. Esta bateria em curto-circuito gerará fuga térmica e aquecerá rapidamente até que se acenda espontaneamente. As células das baterias ternárias podem explodir às temperaturas acima de 200°C (Zeng et al., 2019). A segurança é um papel importante para a maioria das aplicações que utilizam baterias,

as baterias de fosfato de ferro-lítio devido à sua estrutura única de olivina, além de possuir propriedades químicas altamente estáveis e boa resistência a altas temperaturas, apresentam um forte perfil de segurança (Su, 2022; Zeng et al., 2019). Quando são submetidas a impactos, perfurações ou curtos-circuitos, as baterias de fosfato de ferro-lítio não liberam oxigênio, portanto, não explodem nem pegam fogo mesmo se estiverem danificadas (Su, 2022; Zeng et al., 2019). De acordo com a Tabela 1, o desempenho de descarga à baixa temperatura das baterias de fosfato de ferro lítio é menor que para as baterias de lítio ternárias. A relação de corrente durante o carregamento e descarregamento a sua capacidade nominal é chamada de relação de corrente constante, torna-se uma questão cada vez mais importante em todas as aplicações que incluem uma bateria (Su, 2022; Tang et al., 2022). Da Tabela 1, quando as dois tipos de baterias são carregadas dez vezes, à corrente de carga constante, a relação de corrente constante das duas baterias não tem diferença óbvia, mas quando a corrente de carga é dez vezes superior à corrente de carga constante, a diferença entre as duas baterias começa a se manifestar. Esse fator se torna relevante ao carregar vinte vezes, à corrente de carga constante, a relação de corrente constante das baterias de lítio ternárias cai para 53% e para as baterias de fosfato de ferro-lítio é de 10,08%. Segundo Thompson (2022), a maioria das baterias de íons de lítio tem um ciclo de vida entre 500 e 1.000, o que contrasta fortemente com os 1.000 a 10.000 ciclos do fosfato de ferro e lítio. Isso torna as baterias de fosfato de ferro de lítio muito melhores para aplicações que precisam funcionar por longos períodos de tempo sem serem trocadas.

3. Conclusões

Comparando as baterias de lítio e as baterias de fosfato de ferro-lítio, pode-se perceber que, ambas têm vantagens que as posicionam em determinada aplicação no mercado. As baterias de lítio ternárias têm maior densidade de energia e maior eficiência de carga e descarga, mas não são tão eficientes às altas temperaturas e correm o risco de ter fugas térmicas quando a bateria é danificada. As baterias de fosfato de ferro-lítio têm custos menores, estrutura do cátodo mais estável e um ciclo de vida mais longo. No entanto, possuem baixa densidade de energia, baixa eficiência de carga e descarga e baixo desempenho em condições de baixa temperatura. Na atualidade, como ainda uma não é superior à outra nas diferentes condições, os fabricantes de veículos elétricos utilizam os dois tipos de baterias para alimentar estes veículos. Portanto, os processos de reciclagem dos elementos eletroeletrônicos devem considerar os grandes volumes que serão gerados com estes dois resíduos e desenvolver processos de recuperação dos elementos valiosos para evitar impactar negativamente ao meio ambiente, ao mesmo tempo que se impulsiona o desenvolvimento social e econômico do país.

Referências

- Buranelli de Oliveira, M., Moretti Ribeiro da Silva, H., Jugend, D., De Camargo Fiorini, P., & Paro, C. E. (2022). Factors influencing the intention to use electric cars in Brazil. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 155, 418–433. <https://doi.org/10.1016/J.TRA.2021.11.018>
- Choi, K. H., Liu, X., Ding, X., & Li, Q. (2020). Design strategies for development of nickel-rich ternary lithium-ion battery. *Ionics* 2020 26:3, 26(3), 1063–1080. <https://doi.org/10.1007/S11581-019-03429-Z>
- Fan, E., Li, L., Wang, Z., Lin, J., Huang, Y., Yao, Y., Chen, R., & Wu, F. (2020). Sustainable Recycling Technology for Li-Ion Batteries and Beyond: Challenges and Future Prospects. *Chemical Reviews*, 120(14), 7020–7063. https://doi.org/10.1021/ACS.CHEMREV.9B00535/ASSET/IMAGES/MEDIUM/CR9B00535_0022.GIF

- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020* (Issue July). <http://ewastemonitor.info/>
- 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>
- IEA. (2021). *Trends and developments in electric vehicle markets – Global EV Outlook 2021 – Analysis - IEA*. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021/trends-and-developments-in-electric-vehicle-markets>
- Keshan, H., Thornburg, J., & Ustun, T. S. (2016). Comparison of lead-Acid and lithium ion batteries for stationary storage in off-grid energy systems. *IET Conference Publications*, 2016(CP688). <https://doi.org/10.1049/CP.2016.1287/CITE/REFWORKS>
- 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*, 52, 221–227. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.03.011>
- 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*, 242, 125291. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125291>
- Miao, Y., Liu, L., Zhang, Y., Tan, Q., & Li, J. (2022). An overview of global power lithium-ion batteries and associated critical metal recycling. *Journal of Hazardous Materials*, 425, 127900. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127900>
- Mishra, A., Mehta, A., Basu, S., Malode, S. J., Shetti, N. P., Shukla, S. S., Nadagouda, M. N., & Aminabhavi, T. M. (2018). Electrode materials for lithium-ion batteries. *Materials Science for Energy Technologies*, 1(2), 182–187. <https://doi.org/10.1016/J.MSET.2018.08.001>
- Nam, K. H., Jeong, S., Yu, B. C., Choi, J. H., Jeon, K. J., & Park, C. M. (2022). Li-Compound Anodes: A Classification for High-Performance Li-Ion Battery Anodes. *ACS Nano*. https://doi.org/10.1021/ACSNANO.2C05172/ASSET/IMAGES/LARGE/NN2C05172_0005.JPEG
- Nitta, N., Wu, F., Lee, J. T., & Yushin, G. (2015). Li-ion battery materials: present and future. *Materials Today*, 18(5), 252–264. <https://doi.org/10.1016/J.MATTOD.2014.10.040>
- Richard. (2018). *Cobalt's Role in Lithium-Ion Batteries - News about Energy Storage, Batteries, Climate Change and the Environment*. <https://www.upsbatterycenter.com/blog/cobalts-lithium-ion-batteries/#prettyPhoto>
- Satyavani, T. V. S. L., Srinivas Kumar, A., & Subba Rao, P. S. V. (2016). Methods of synthesis and performance improvement of lithium iron phosphate for high rate Li-ion batteries: A review. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 19(1), 178–188. <https://doi.org/10.1016/J.JESTCH.2015.06.002>
- Scrosati, B. (2011). History of lithium batteries. *Journal of Solid State Electrochemistry* 2011 15:7, 15(7), 1623–1630. <https://doi.org/10.1007/S10008-011-1386-8>
- Shen, C., & Wang, H. (2019). Research on the Technological Development of Lithium Ion Battery Industry in China. *Journal of Physics: Conference Series*, 1347(1), 012087. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1347/1/012087>
- Stan, A. I., Swierczynski, M., Stroe, D. I., Teodorescu, R., Andreasen, S. J., & Moth, K.

- (2014). A comparative study of lithium ion to lead acid batteries for use in UPS applications. *INTELEC, International Telecommunications Energy Conference (Proceedings), 2014-January*(January). <https://doi.org/10.1109/INTLEC.2014.6972152>
- Su, Y. (2022). Comparative Analysis of Lithium Iron Phosphate Battery and Ternary Lithium Battery. *Journal of Physics: Conference Series, 2152*(1), 012056. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2152/1/012056>
- Tang, X., Gao, F., Liu, K., Liu, Q., & Foley, A. M. (2022). A Balancing Current Ratio Based State-of-Health Estimation Solution for Lithium-Ion Battery Pack. *IEEE Transactions on Industrial Electronics, 69*(8), 8055–8065. <https://doi.org/10.1109/TIE.2021.3108715>
- Thompson, A. (2022). *What Is The Difference Between Lithium Iron Phosphate And Lithium-Ion Batteries?* | AceOn Group. <https://www.aceongroup.com/news/what-is-the-difference-between-lithium-iron-phosphate-and-lithium-ion-batteries/>
- Vargas, J. E. V., Seabra, J. E. A., Cavaliero, C. K. N., Walter, A. C. S., Souza, S. P., & Falco, D. G. (2020). The New Neighbor across the Street: An Outlook for Battery Electric Vehicles Adoption in Brazil. *World Electric Vehicle Journal 2020, Vol. 11, Page 60, 11*(3), 60. <https://doi.org/10.3390/WEVJ11030060>
- Wu, Borong; Ren, Yonghuan; Ning, Li. (2011). *“LiFePO₄ cathode material.” Electric Vehicles-The Benefits and Barriers* (S. Soylu (Ed.)). BoD–Books on Demand.
- Yamamura, C. L. K., Takiya, H., Machado, C. A. S., Santana, J. C. C., Quintanilha, J. A., & Berssaneti, F. T. (2022). Electric Cars in Brazil: An Analysis of Core Green Technologies and the Transition Process. *Sustainability 2022, Vol. 14, Page 6064, 14*(10), 6064. <https://doi.org/10.3390/SU14106064>
- Zeng, X., Li, M., Abd El-Hady, D., Alshitari, W., Al-Bogami, A. S., Lu, J., & Amine, K. (2019). Commercialization of Lithium Battery Technologies for Electric Vehicles. *Advanced Energy Materials, 9*(27), 1900161. <https://doi.org/10.1002/AENM.201900161>
- Zhang, Y., Wang, W., Fang, Q., & Xu, S. (2020). Improved recovery of valuable metals from spent lithium-ion batteries by efficient reduction roasting and facile acid leaching. *Waste Management, 102*, 847–855. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.11.045>
- Zhao, Y., Pohl, O., Bhatt, A. I., Collis, G. E., Mahon, P. J., R  ther, T., & Hollenkamp, A. F. (2021). A Review on Battery Market Trends, Second-Life Reuse, and Recycling. *Sustainable Chemistry 2021, Vol. 2, Pages 167-205, 2*(1), 167–205. <https://doi.org/10.3390/SUSCHEM2010011>
- Zhou, G., Li, F., & Cheng, H. M. (2014). Progress in flexible lithium batteries and future prospects. *Energy & Environmental Science, 7*(4), 1307–1338. <https://doi.org/10.1039/C3EE43182G>