

## BATERIAS DE ÍON DE LÍTIO ESTADO DA ARTE E APLICAÇÕES

### **Ulisses Galvão Romão**

Especialista, Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Cubatão (IFSP Cubatão), SP, Brasil.

### **Amauri Dias de Carvalho**

Mestre em Engenharia, Professor e Membro do Grupo de Pesquisa AUTOMSYSTEM, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Cubatão (IFSP Cubatão), SP, Brasil.

### **Arnaldo de Carvalho Junior**

Mestre em Engenharia, Professor e Membro dos Grupos de Pesquisa AUTOMSYSTEM e LABMAX, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, Campus Cubatão (IFSP Cubatão), SP, Brasil.

**Resumo:** O crescente uso global de eletrônicos móveis e legislações ambientais mais restritivas ao uso de veículos e equipamentos alimentados por combustíveis fósseis e não renováveis, acelera o desenvolvimento de novas tecnologias para armazenamento de energia elétrica provinda decorrente de sistemas sustentáveis, renováveis e não poluentes. Assim o mercado anseia por baterias mais eficientes, com alto grau de armazenamento em relação ao seu peso e dimensões, além de baixo custo de produção e a possibilidade de reciclagem ao final de vida. Neste contexto as baterias de íon de lítio são as que tem recebido mais esforços em seu desenvolvimento, tornando-as atualmente as mais empregadas. Neste artigo iremos detalhar os tipos de baterias de íon de lítio existentes, suas características, diferenças e aplicações.

**Palavras-chave:** Armazenamento de energia. Mobilidade. Conectividade.

**Abstract:** The increasing global use of mobile electronics and more stringent environmental legislation on the use of vehicles and equipment powered by fossil and non-renewable fuels, accelerates the development of new technologies for electrical energy storage systems stemmed from sustainable, renewable and non-polluting. Thus the market yearns for more efficient batteries, with a high degree of storage in relation to their weight and dimensions and also low production cost and the possibility of recycling at the end of life. In this context, lithium ion batteries are the ones that have received the most efforts in their development,

making them currently the most used. In this article, we will detail the types of existing lithium ion batteries, their characteristics, differences and applications.

**Keywords:** Energy saving. Mobility. Connectivity.

## INTRODUÇÃO

Em um planeta cada vez mais conectado e a mobilidade ficando mais prejudicada pela maior quantidade de veículos ocupando mais espaços, aumentando a poluição e a constante diminuição das reservas de combustíveis não renováveis, a procura por novas tecnologias para maximizar a demanda e armazenamento da energia e reduzir a poluição vem crescendo exponencialmente.

A um aumento significativo da procura por energias renováveis como geração eólica, células fotovoltaicas, hidroelétricas, células de combustível, dentre outras. Mas para resolver o problema da mobilidade e conectividade, passamos por um outro problema o armazenamento de energia (figura 1).

Figura 1 – Armazenamento de Energia de Fontes Sustentáveis



Fonte: Johan Jarnestad – The Royal Swedish Academy of Sciences

Na questão da mobilidade, nossa sociedade está acostumada à utilização veículos de combustão interna, cuja energia vem de combustíveis que com o tempo se tornaram de fácil armazenamento e reabastecimento. Se não temos postos de abastecimento próximos,

podemos simplesmente aumentar a capacidade do tanque de combustível ou recorrermos a reservatórios reservas. Desde o início da utilização de combustíveis transportáveis sejam sólidos, líquidos ou gasosos, nossa sociedade vem se especializando em tornar o armazenamento destes combustíveis mais seguros e sua logística de distribuição mais viável. Como esse processo demandou muitos esforços, baseados em tentativas, erros e muitos acidentes, atualmente a utilização parece extremamente fácil e despreocupada. Temos, na maioria das vezes, a oferta maior que a demanda e com isso muitos pontos de distribuição, assim nos acostumamos com a facilidade do reabastecimento e a rapidez que é executado, tornando o desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento de energias um processo inicialmente muito difícil, pois tendemos a compará-las com o sistema atual.

Assim, para que a mudança seja viabilizada, é esperado que, no mínimo, as novas tecnologias de armazenamento se equiparem à velocidade e ao número dos pontos de reabastecimento. Por este motivo, a tecnologia de geração e armazenamento de energia para mobilidade mais acessível, no momento, é o carro híbrido a combustão e elétrico não plug-in (não recarregável na tomada), que usufruem nesse momento das facilidades do sistema de reabastecimento, com a redução do consumo de combustível pela utilização da parte elétrica e eletrônica de controle, baterias e motores elétricos. Podemos considerar que esta seja a solução mais viável no momento para nos acostumarmos e passarmos pela fase de transição do carro a combustão para o futuro que, provavelmente, ao que tudo indica, será o carro elétrico. Já temos alguns indicativos deste futuro, diversos países estão tomando medidas concretas para diminuir o consumo de combustíveis fósseis. Como exemplo, na Alemanha, há um projeto em andamento que proibirá os veículos movidos a combustão interna. A medida prevê a adoção exclusiva de motores elétricos até 2030 e no Reino Unido pretende proibir a utilização dos motores a gasolina e a diesel até 2050.

Mas mesmo o carro híbrido a combustão e elétrico não plug-in, ainda passam pelos mesmos dilemas do armazenamento da energia elétrica também existente em todos os dispositivos de tecnologia de conectividade móvel. Há a expectativa de baterias de alta capacidade de armazenamento em relação ao peso e dimensões, que tenha a capacidade de carga e descarga em curto espaço de tempo, que isto seja feito com grande longevidade e tudo isto a um custo extremamente baixo.

A palavra que mais se usa atualmente nesse sentido é eficiência energética, geração e armazenamento de energia de baixo custo e de alta eficiência. A exemplo de um grande salto na eficiência energética foi a proibição no Brasil em 30/06/2016, da venda das lâmpadas incandescentes que eram baratas mas consumiam muita energia, e a adoção das lâmpadas de led. Inicialmente houve um custo muito grande que os consumidores tiveram que pagar para a aquisição dos primeiros exemplares a led, mas atualmente os preços estão quase se equiparando às antigas lâmpadas incandescentes, e a comparação com a eficiência energética da transformação da energia elétrica em energia luminosa (lumens/Watt), que era de 13% nas lâmpadas incandescentes para 88% para as lâmpadas de led, ou seja, a quantidade de luminosidade que uma lâmpada incandescente de 100W fornecia, atualmente é fornecida por uma lâmpada de led de 15W. E ainda temos o efeito da durabilidade, pois uma lâmpada de led tem a vida útil estimada em 30.000 horas e a lâmpada incandescente 1.000h, tabela 1 (SIC, 2015).

Tabela 1 – Vida útil e eficiência luminosa

Tipo de Lâmpada	Vida útil (h)	Potência (W)	Luminosidade (lm)	Eficiência Luminosa (lm/W)
Incandescente	1.000	100	1300	13
Led	30.000	15	1320	88

Fonte - SIC, pag. 2, 2015

Em todos estes requisitos a bateria de íon de lítio foi adotada neste sentido, inclusive o Premio Nobel de Química de 2019 foi atribuído a três Professores, Cientistas e Pesquisadores o Britânico M.Stanley Whittingham, o Norte Americano John B. Goodenough, e o Japonês Akira Yoshino, desenvolvedores deste tipo de bateria.

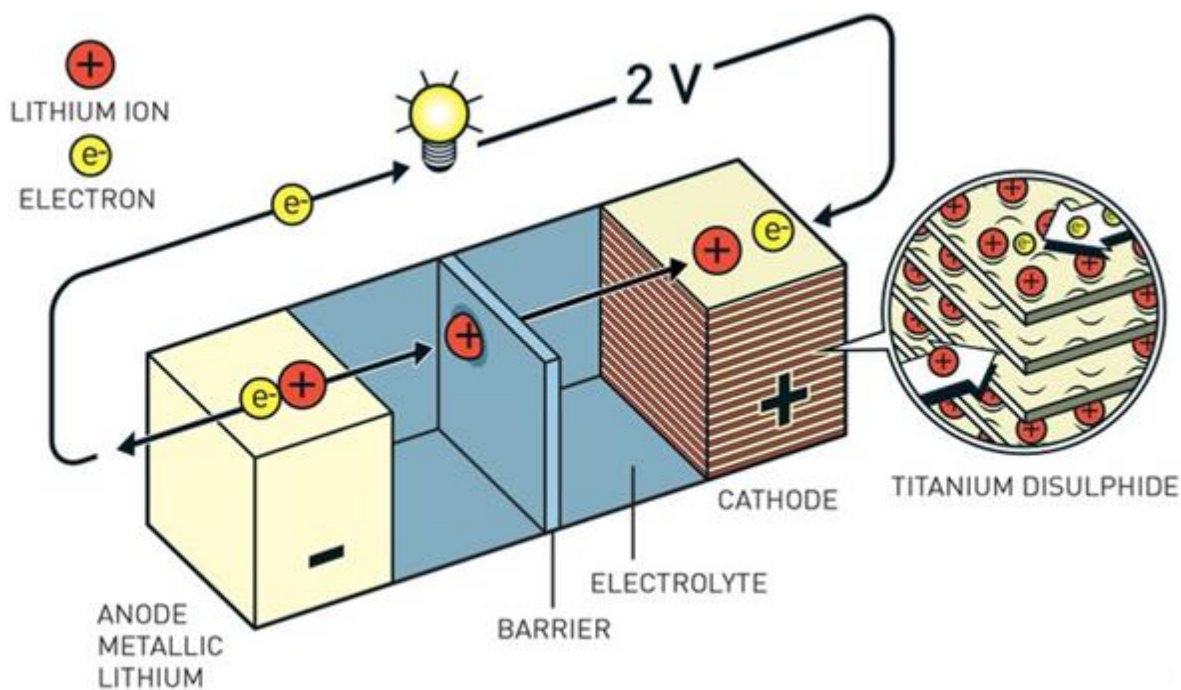
## HISTÓRICO DO DESENVOLVIMENTO DA BATERIA DE ÍON DE LÍTIO (LI-ION)

Após as crises do petróleo dos anos 1970, Stanley Whittingham, Professor da Universidade de Binghamton, Universidade Estadual de Nova York, EUA, começou a

pesquisar fontes de energia renováveis. Através destes estudos optou pelo uso do lítio que é o primeiro metal da tabela periódica de Mendeleev, pela reatividade do metal e também o mais leve, características importantes para os dispositivos eletrônicos, e assim desenvolveu a bateria de lítio com o cátodo inovador de dissulfeto de titânio ( $\text{TiS}_2$ ). Mas após alguns testes percebeu que teria que estabilizar o material para evitar possíveis explosões ao recarregarem a bateria.

O Professor John Goodenough da Universidade do Texas em Austin, EUA, como especialista em materiais, sugeriu a troca do ânodo (polo negativo da bateria) por outro elemento. Os íons positivos do lítio e as propriedades do cátodo (polo positivo da bateria) poderiam aumentar se fosse produzido a partir de óxido metálico em vez de dissulfeto. Assim em 1980, ele demonstrou que a combinação de óxido de cobalto e íons de lítio poderia produzir até 4 volts. (Figura 2).

Figura 2 – Bateria de Íon de Lítio de John B. Goodenough e M. Stanley Whittingham

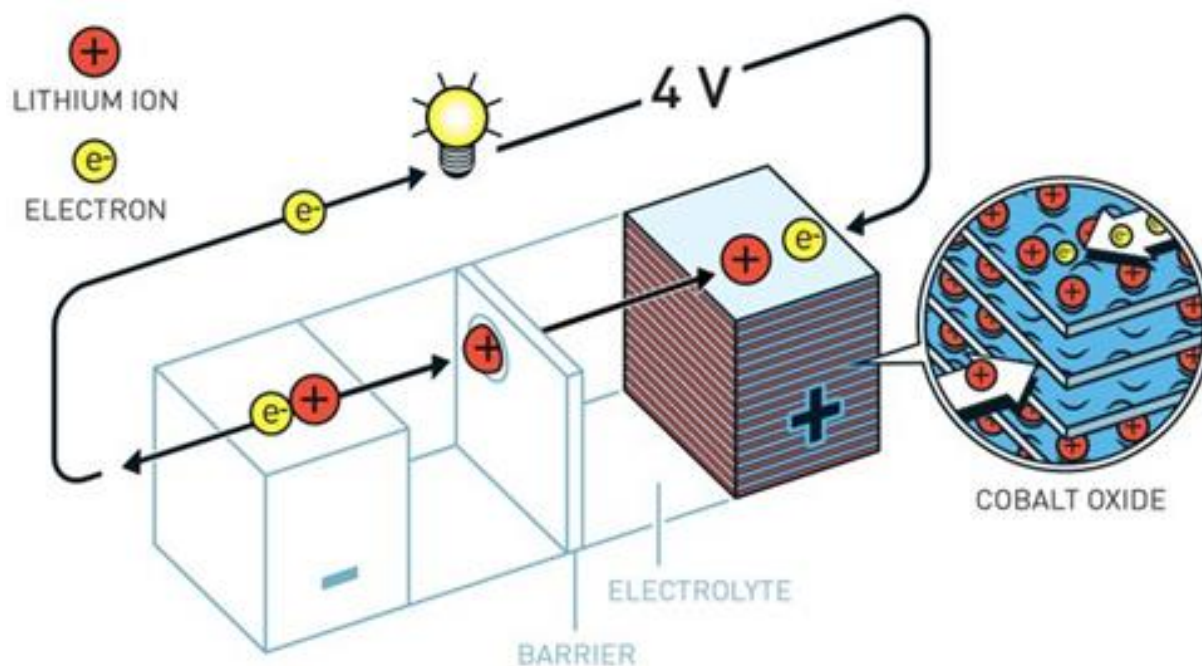


Fonte: Johan Jarnestad – The Royal Swedish Academy of Sciences

Esta bateria podia ser carregada cerca de 100 vezes seguidas antes de falhar. Uma das maiores vantagens desta bateria era que suas reações químicas eram uniformes, reduzindo a chance de ocorrer um choque interno, deixando-as mais duráveis.

Em 1985, a partir das descobertas de John B. Goodenough e M. Stanley Whittingham, Akira Yoshino da Asahi da Kasei Corporation, Tóquio, Japão e também Professor da Universidade Meijo, Nagoya, Japão, substituiu o titânio na constituição das baterias e conseguiu desenvolver a primeira bateria que seria comercializada, com um material feito de carbono e óxido de cobalto que conseguiria armazenar os íons positivos do lítio (figura 3).

Figura 3 – Primeira bateria de Íon de Lítio comercializada de Akira Yoshino



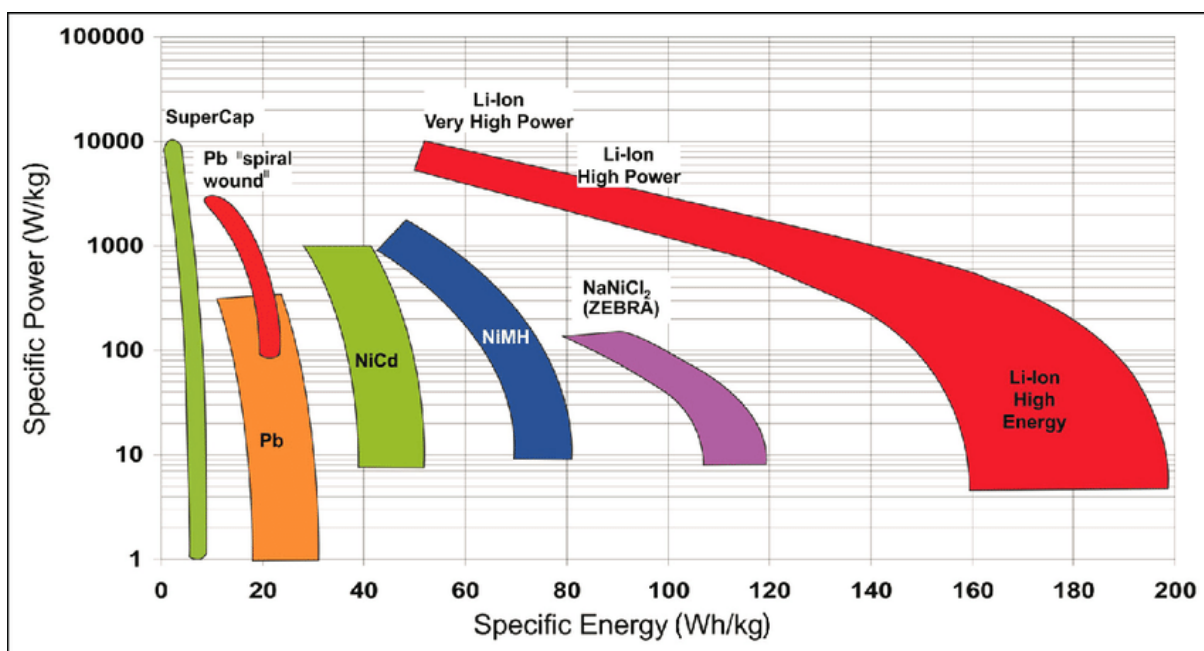
Fonte: Johan Jarnestad – The Royal Swedish Academy of Sciences

A mudança climática é um desafio muito sério para a humanidade e as baterias de íon-lítio podem armazenar a eletricidade que mudará esta realidade (CORREIO, 2019). A potência e durabilidade são fatores que tornaram essas baterias extremamente importantes para a vida moderna, pelo fato de conseguirem garantir energia constante, longevidade e carregamento rápido, características fundamentais para sistemas portáteis (EXAME, 2019).

## CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO

O Lítio apresenta um elevado potencial padrão de oxidação (3,04V) e tem baixa massa molecular ( $6,94 \text{ g mol}^{-1}$ ), assim tornando possível a construção de sistemas de bateria com alta densidade de energia por massa. Comparando as baterias de Lítio com as que até então eram as mais empregadas em sistemas de armazenamento estacionário, as VRLA (Valve Regulated Lead Acid ou Ácido de chumbo regulado por válvula, que são bateria de chumbo ácido selada que não precisa de manutenção), apresenta até 70% menor volume e vida útil 4 vezes maior, figura 4. (IEA, 2011)

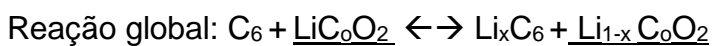
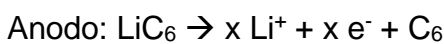
Figura 4. Gráfico da potência específica em função da energia específica dos diversos tipos de baterias.



Fonte: International Energy Agency, *Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, IEA Technology Roadmaps. OECD, 10/2011

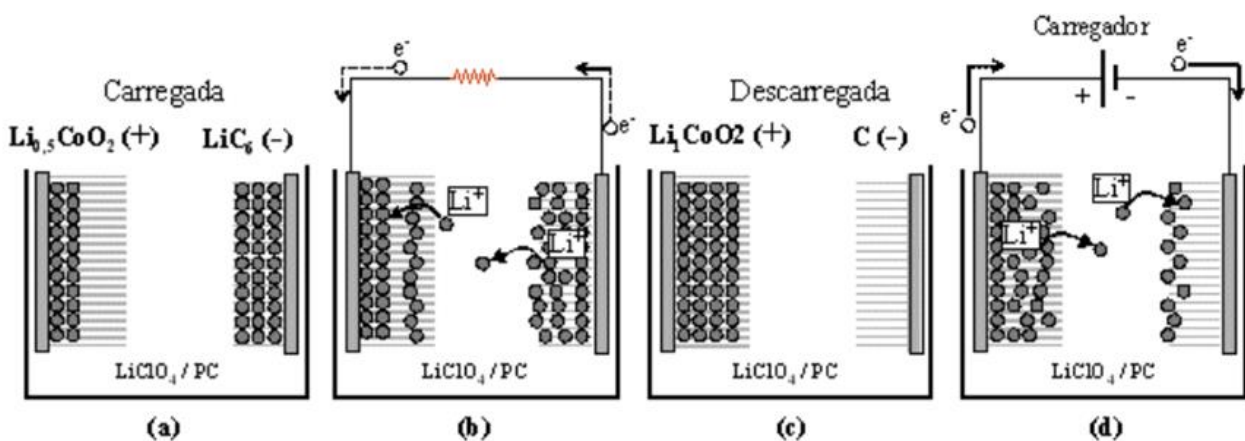
Entretanto é um metal altamente reativo, podendo causar graves acidentes, o lítio em forma iônica foi empregado como alternativa para a diminuição dos riscos de explosões. A configuração das baterias íon de lítio consiste na presença de três componentes básicos, o eletrodo anódico geralmente de carbono grafite, o eletrodo catódico de uma matriz contendo lítio e o eletrólito orgânico contendo sais de lítio, devido à reatividade do íon com água. (Carvalho, 2018).

A reação das baterias íon de lítio é baseada no mecanismo de intercalação iônica. Os materiais utilizados nos eletrodos devem possuir uma estrutura que agregue os íons de lítio, por meio da difusão na rede cristalina, e não afete a estabilidade. Dessa forma, na carga da bateria, íons lítio desagregam do ânodo, acarretando a oxidação do eletrodo para manter a neutralidade do sistema, e migram através da solução eletrolítica para o cátodo (figura 5d), ocorrendo o contrário na descarga, havendo a desagregação de íons lítio do eletrodo de grafite em direção ao cátodo (figura 5b). As reações eletroquímicas do mecanismo de descarga, para o sistema LCO, são:



Sendo o lítio intercalado ao eletrodo negativo oxidado, gerando corrente elétrica, e posteriormente reduzido no eletrodo positivo. Dessa forma, quando a bateria está descarregada, ela se encontra (idealmente) sem lítio agregado no ânodo de grafite (figura 5c), enquanto que quando totalmente carregada, 50% dos íons lítio do cátodo são migrados para o ânodo, tornando-se  $\text{Li}_{0,5} \text{CoO}_2$  (figura 5a).

Figura 5. Processos da bateria íon-lítio LCO em eletrólito de carbonato de propileno/ $\text{LiClO}_4$ ,  
 a) carregada, b) descarregando, c) descarregada e d) carregando.



Fonte: <https://blogdokauffmann.files.wordpress.com/2008/12/manual-de-baterias-de-ion-de-litio1.pdf>



Entretanto, as íon-lítio podem ter suas capacidades afetadas irreversivelmente se submetidas a sobrecargas ou sobre descargas profundas, ocasionando perda de mais de 50% de lítio do cátodo ou perda de massa do eletrodo anódico de grafite, respectivamente. (Energia, 2008)

## TIPOS DE BATERIAS DE ÍONS DE LÍTIO (LI-ION)

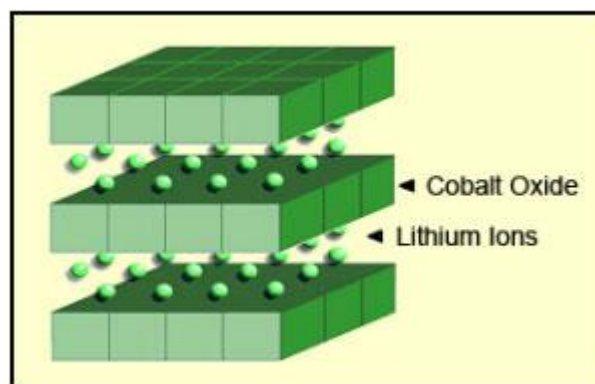
### ÓXIDO DE LÍTIO COBALTO E ( $\text{LiCoO}_2$ ) - LCO

Existem diferentes tipos de baterias de Li-Ion, por exemplo, o óxido de lítio cobalto, usado nas baterias Li-Ion mais comuns. Cobalto é o principal material ativo, tem os símbolos químicos  $\text{LiCoO}_2$  e a abreviatura LCO. Por razões de simplicidade usa-se li-cobalto.

#### Características básicas:

Consiste em um cátodo de óxido de lítio cobalto e um anodo de grafite. Em sistemas mais recentes incluem níquel, manganês e alumínio para melhorar a longevidade, a capacidade de carregamento e o custo. O cátodo tem uma estrutura em camadas. Durante a descarga os íons de lítio se movem do ânodo para o cátodo. Na carga o fluxo é do cátodo para ânodo (figura 6).

Figura 6 - Estrutura da bateria de li-cobalto.



Fonte: [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)

A desvantagem da bateria LCO é uma vida relativamente curta, baixa estabilidade térmica e capacidade de carga limitada. Não devem ser carregadas e descarregadas com

uma corrente superior à sua taxa C (capacidade nominal). Forçar uma carga rápida ou aplicar uma carga superior a C provoca superaquecimento e estresse indevido. Para uma carga rápida ideal, o fabricante recomenda uma corrente de 0,8C. O circuito de proteção obrigatório da bateria limita a taxa de carga e descarga a um nível seguro de cerca de 1C. Tem energia específica elevada, mas tem desempenho moderado quando se trata de segurança e vida útil.

A tecnologia LCO em sistemas mais recentes incluem níquel, manganês e alumínio para melhorar a longevidade, a capacidade de carregamento e o custo.

### **Principais Características**

**Óxido de lítio cobalto:** cátodo  $\text{LiCoO}_2$  e ânodo de grafite;

**Tensão Nominal:** 3,60V;

**Faixa de operação típica:** 3,0 a 4,2V/célula;

**Energia específica (capacidade):** 150 a 200Wh/kg. As células especiais proporcionam até 240Wh/kg;

**Carga:** 0,7 a 1C até 4,20V. Uma corrente de carga acima de 1C reduz a duração da bateria. Tempo de carga típico: 3 horas;

**Descarga:** 1C até 2,50V. Corrente de descarga acima de 1C reduz a duração da bateria;

**Vida útil:** 500 a 1000 ciclos, dependendo da profundidade da descarga, carga e temperatura;

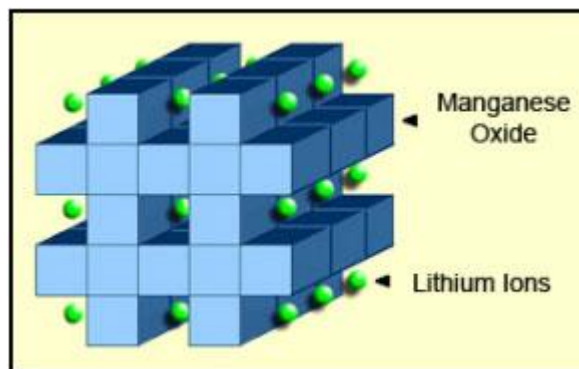
**Fuga térmica:** 150°C;

**Aplicações:** A alta energia específica faz dela a escolha mais popular para telefones celulares, tablets, notebooks e câmeras digitais (Rontek, 2019).

### **ÓXIDO LÍTIO MANGANÊS ( $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ) – LMO OU LI-MANGANÊS**

Em 1996, a Moli Energy comercializou uma célula Li-Ion com óxido de lítio manganês como material catódico. A arquitetura forma uma estrutura que melhora o fluxo de íons no eletrodo, o que resulta em menor resistência interna e capacidade de corrente melhorada (figura 7).

Figura 7 - Formação de uma estrutura cristalina tridimensional no catodo da LMO.



Fonte: [https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)

Uma vantagem adicional desta bateria é a elevada estabilidade térmica e maior segurança, mas o ciclo e a vida são limitados. A baixa resistência interna das células permite um carregamento rápido e alta corrente de descarga. Essa baixa resistência causa uma energia específica mais moderada aproximadamente um terço menor do que a bateria LCO. Os projetos mais recentes de baterias LMO oferecem melhorias em potência, segurança e durabilidade.

Uma bateria LMO tipo 18650 (cilíndrica de diâmetro 18 mm e altura 65 mm), pode ser descarregada com correntes de 20 a 30A, com acúmulo de calor moderado. Também é possível aplicar impulsos de carga de um segundo de até 50A. Uma carga elevada contínua nessa corrente causa acúmulo de calor e a temperatura da célula não pode exceder 80°C.

A maioria das baterias LMO mistura com óxido de lítio níquel-mangânês-cobalto (NMC) para melhorar a energia específica e prolongar a vida útil. Esta combinação traz o melhor em cada sistema, e o LMO (NMC) é o escolhido para a maioria dos veículos elétricos, como o Nissan Leaf, Chevy Volt e BMW i3. A parte LMO da bateria, que pode ser aproximadamente 30%, fornece a energia elevada que é necessária na aceleração; a parte NMC dá maior autonomia ao veículo. Em alguns modelos, uma pequena quantidade de silício é adicionada ao ânodo, assim proporciona um aumento de capacidade de 25%. No entanto, isto implica numa vida mais curta, já que o silício cresce e encolhe com carga e descarga, causando estresse mecânico.

### **Principais características:**

**Óxido Lítio Manganês:** Catodo  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  e ânodo de grafite;

**Tensão Nominal:** 3,70V ou 3,80V;

**Faixa de operação típica:** 3,0 a 4,2V/célula;

**Energia específica (capacidade):** 100 a 150Wh/kg;

**Carga:** 0,7 a 1C típico, 3C máximo até 4,20V;

**Descarga:** contínua de 1C a 10C, pulsada até 30C durante 5s para uma tensão de corte de 2,50V;

**Vida útil:** 300 a 700 ciclos, dependendo da profundidade de descarga e temperatura;

**Fuga Térmica:** 250°C típica, alta carga promove fuga térmica;

**Aplicações:** Ferramentas elétricas, instrumentos médicos e veículos híbridos e elétricos (Rontek, 2019).

### **ÓXIDO DE LÍTIO NÍQUEL MANGANÊS COBALTO ( $\text{LiNiMnCoO}_2$ ) – NMC**

Um dos sistemas Li-Ion mais bem-sucedidos é uma combinação de cátodo de níquel-manganês-cobalto (NMC). É semelhante ao li-manganês. Por exemplo, uma célula NMC modelo 18650, para condições de carga moderada, tem uma capacidade de cerca de 2.800mAh e pode fornecer de 4A a 5A. Uma célula NMC otimizada para potência específica tem uma capacidade de apenas cerca de 2.000mWh, mas oferece uma corrente de descarga contínua de 20A. Um ânodo baseado em silício pode aumentar a capacidade da bateria até 4.000mAh ou mais, mas com capacidade de carregamento reduzida e menor vida útil. O silício adicionado ao grafite tem a desvantagem de que o ânodo cresce e encolhe com carga e descarga, tornando a célula mecanicamente instável. O segredo da NMC reside na combinação de níquel e manganês. O níquel é conhecido por sua alta energia específica, mas pobre estabilidade. O manganês tem o benefício de formar uma estrutura de espinélio (grupo de minerais que cristalizam no sistema cúbico, com hábito octaédrico) para conseguir baixa resistência interna, mas oferece uma baixa energia específica.

Combinando-se os metais aumentam-se os pontos fortes da bateria. A combinação de cátodo é tipicamente um terço de níquel, um terço de manganês e um terço de cobalto, também conhecido como 1-1-1. Isto oferece uma mistura única que também diminui o custo de matéria-prima devido ao reduzido teor de cobalto. Outra combinação bem-sucedida é NCM com 5 partes de níquel, 3 partes de cobalto e 2 partes de manganês. São possíveis

outras combinações utilizando várias quantidades de materiais catódicos. Novos eletrólitos e aditivos permitem carregar a 4,4V/célula e aumentar a capacidade da bateria. Os três materiais ativos de níquel, manganês e cobalto podem ser misturados facilmente para atender a uma ampla gama de aplicações para sistemas de armazenamento de energia automotiva e de energia que precisam de ciclos frequentes. A bateria de Li-Íon de NMC tem bom desempenho geral e se destaca em energia específica e a taxa mais baixa de auto aquecimento, assim sua família está crescendo em sua diversidade.

**As principais características são:**

**Óxido de lítio níquel manganês cobalto:** Cátodo de  $\text{LiNiMnCoO}_2$  e ânodo de grafite,

**Tensão Nominal:** 3,60V ou 3,70V;

**Faixa de operação típica** 3,0-4,2V/célula, ou superior;

**Energia específica (capacidade):** 150-220Wh/kg;

**Carga:** 0,7-1C até 4,20V, algumas baterias atingem 4,30V; tempo típico de carga 3 horas, A corrente de carga acima de 1C reduz a duração da bateria;

**Descarga:** 1C, mas 2C é possível em algumas células, tensão de corte de 2,50V;

**Vida útil:** 1000 a 2000 ciclos, relacionado à profundidade de descarga e temperatura;

**Fuga térmica típica:** 210°C, alta carga promove fuga térmica.

**Aplicações:** ferramentas elétricas industriais, dispositivos médicos, e-bikes e veículo elétrico (Rontek, 2019).

## **FOSFATO DE FERRO LÍTIO ( $\text{LiFePO}_4$ ) – LFP OU LI-FOSFATO**

Em 1996, a Universidade do Texas e outros colaboradores descobriram o fosfato como material catódico para baterias de lítio recarregáveis. A bateria de li-fosfato oferece bom desempenho eletroquímico com baixa resistência. Isto é possível com o material de cátodo de fosfato de nano escala. Os principais benefícios são alta corrente nominal, longa vida útil, além de boa estabilidade térmica, maior segurança e tolerância se o uso for intenso. É mais tolerante às condições de carga total e menos estressada do que outros sistemas de Li-Ion, se mantidos em alta tensão por um tempo prolongado. Em contrapartida, sua menor tensão nominal de 3,2V/célula, reduz a energia específica abaixo das Li-Ion à base de cobalto. Com a maioria de baterias, a temperatura fria reduz o desempenho e a temperatura elevada do armazenamento, encurta a vida de serviço e não

é nenhuma exceção. Tem maior auto descarga do que outras baterias Li-Ion, o que pode causar problemas de equilíbrio com o envelhecimento. É usada frequentemente para substituir a bateria de chumbo-ácido de automóveis. Quatro células em série produzem 12,8V, tensão semelhante a seis células de chumbo-ácido em série que produzem 12V. Os veículos carregam as baterias de chumbo-ácido até 14,4V ou 2,40V/célula, com quatro células de li-fosfato em série, cada célula com tensão máxima de carga em 3,6V; tem-se a mesma tensão máxima de carga das baterias de chumbo-ácido que é de 14,4V. É tolerante a alguma sobrecarga, entretanto, manter a tensão em 14,4V por um tempo prolongado, como na maioria de veículos em um longo percurso, poderia forçar a bateria e também o arranque em temperatura a frio pode ser um problema.

A bateria de li-fosfato tem excelente segurança, aliás dos sistemas Li-Ion é a mais segura, mesmo que totalmente carregada e vida longa, mas moderada energia específica e auto descarga elevada.

### **Principais características**

**Fosfato de lítio ferro:** Cátodo  $\text{LiFePO}_4$  e ânodo de grafite;

**Tensão Nominal:** 3,20V ou 3,30V;

**Faixa de operação típica:** 2,5 a 3,65V/célula;

**Energia específica, capacidade:** 90-120Wh/kg;

**Carga:** 1C típico até 3,65V;

**Tempo de carga típico:** 3 horas;

**Descarga:** 1C típica, 25C em algumas células, pulsada 40A em 2s, com tensão de corte de 2,50V, menor que 2V causa danos;

**Vida útil:** 1000 a 2000 ciclos, relacionado à profundidade de descarga, temperatura.

**Fuga térmica:** 270°C (Rontek, 2019);

**Aplicações:** Ônibus, caminhões, empilhadeiras e veículos pesados elétricos, baterias com ar condicionado (FEIRA LAT BUS, 2018).

### **ÓXIDO DE LÍTIO NÍQUEL COBALTO ALUMÍNIO ( $\text{LiNiCoAlO}_2$ ) – NCA OU LI-ALUMÍNIO**

Existe desde 1999 para aplicações especiais, compartilha semelhanças com NMC, oferecendo alta energia específica, boa densidade, potência específica e uma longa vida

útil. Menos vantajosas em relação a outros tipos de baterias Li-Ion, tem alto custo e baixa segurança.

### **Principais características**

**Óxido de lítio níquel cobalto alumínio:** Catodo  $\text{LiNiCoAlO}_2$ , aproximadamente 9% Co e ânodo de grafite;

**Tensão Nominal:** 3,60V;

**Faixa de operação típica:** 3,0 a 4,2V/célula;

**Energia específica (capacidade):** 200 a 260Wh/kg, 300Wh/kg previsível;

**Carga:** 0,7C até 4,20V

**Tempo de carga típico:** 3h;

**Descarga:** 1C típica com 3V de tensão de corte. Alta taxa de descarga encurta a vida da bateria;

**Vida útil:** 500 ciclos, relacionado à profundidade de descarga, temperatura;

**Fuga térmica:** 150°C típica. Carga elevada promove fuga térmica;

**Aplicações:** Dispositivos médicos, industriais, veículos da Tesla (Rontek, 2019).

### **TITANATO DE LÍTIO ( $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ ) – LTO OU LI-TITANATO**

Conhecidas desde a década de 1980, o li-titanato substitui o grafite no ânodo de Li-Ion típica e o material se forma em uma estrutura de espinélio, o cátodo pode ser óxido de manganês de lítio ou NMC. Tem tensão de célula nominal de 2,40V, pode ser carregada rapidamente e oferece uma alta corrente de descarga de 10C (10 vezes a capacidade nominal). A vida útil é mais elevada do que aquela da bateria Li-Ion regular e é segura. Tem excelentes características de descarga a baixa temperatura. Tem uma capacidade de 80% a -30°C, no entanto, a bateria é cara e tem apenas 65Wh/kg de energia específica, similar à bateria de níquel cádmio (NCd), carrega até 2,80V/célula e o fim da descarga é 1,80V/célula. Supera as demais em segurança, desempenho a baixa temperatura e vida útil longa. Estudos estão sendo feitos para melhorar a energia específica e diminuir o custo.

### **Principais características**

**Titanato de lítio:** Cátodo pode ser óxido de lítio manganês ou NMC e o ânodo  $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$  (titanato), comercialmente disponível desde aproximadamente 2008;

**Tensão Nominal:** 2,40V;

**Intervalo de operação típico:** 1,8 a 2,85V/célula;

**Energia específica (capacidade):** 70 a 80Wh/kg;

**Carga:** 1C típica, 5C máxima até 2,85V;

**Descarga:** 10C possível pulsada até 30C durante 5s, com tensão de corte de 1,80V;

**Vida útil:** 3.000 a 7.000 ciclos;

**Fuga térmica:** Uma das baterias Li-Ion mais seguras;

**Aplicações:** Nobreaks, veículos elétricos (Mitsubishi i-MiEV, Fit EV da Honda), iluminação pública com energia solar (Rontek, 2019).

## COMPARAÇÃO ENTRE AS BATERIAS DE LI-ION

A seguir, o resumo comparando das principais vantagens e limitações de cada tipo de bateria Li-Ion.

**Óxido de lítio cobalto (LiCoO<sub>2</sub>) – LCO:** Potência limitada e energia específica elevada;

**Óxido lítio manganês (LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) – LMO:** Potência elevada, capacidade reduzida e mais segura que a bateria LCO;

**Óxido de lítio níquel manganês cobalto (LiNiMnCoO<sub>2</sub>) – NMC:** Potência elevada, capacidade reduzida e mais segura que a bateria LCO;

**Fosfato de ferro lítio (LiFePO<sub>4</sub>) – LFP:** Potência elevada, curva plana de descarga, auto descarga elevada, capacidade baixa e muito segura;

**Óxido de lítio níquel cobalto alumínio (LiNiCoAlO<sub>2</sub>) – NCA:** Potência moderada com maior capacidade e similar à LCO;

**Titanato de lítio (Li<sub>4</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>12</sub>) – LTO:** Vida longa, carga rápida, faixa larga de temperatura, baixa capacidade, cara e segura.

A tabela 2 resume os principais parâmetros de cada tipo de Baterias Li-Ion.



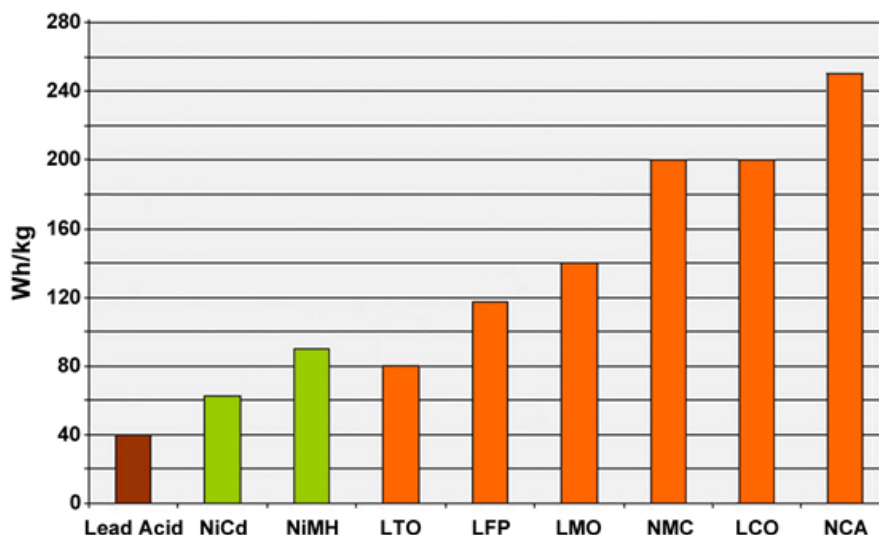
Tabela 2 – Comparação entre as baterias de Li-Ion

Tipo de Bateria de Li-Ion	LCO	NCA	NMC	LMO	LTO	LFP
Tensão Nominal (V)	3,6			3,7	2,4	3,2
Tensão Mínima na carga (V)	3,0				1,8	2,5
Tensão Máxima na carga (V)	4,20				2,85	3,65
Tensão Mínima (V)	2,5				1,5	2,0
Energia Específica (Wh/Kg)	175	230	185	125	75	105
Taxa de Carga Padrão (Taxa C)	1					
Tempo de Carga Rápida (horas)	3					
Taxa de Descarga Máxima (horas)	1		2	10		25
Número de ciclos - Médio	700	500	1500	500	5000	1500

Modificado de: Rontek, 2019) tipos de baterias de Li-Ion

A Figura 8 compara a energia específica de sistemas baseados em chumbo, níquel e lítio. Embora o Li-alumínio (NCA) seja o vencedor, armazenando mais capacidade do que outros sistemas, isso se aplica apenas a energia específica. Em termos de potência específica e estabilidade térmica, o Li-manganês (LMO) e o Li-fosfato (LFP) são superiores. O titanato de lítio (LTO) pode ter baixa capacidade, mas essa química sobrevive à maioria das outras baterias em termos de vida útil e também possui o melhor desempenho a baixa temperatura. Salientamos que, levando em consideração a energia armazenada, a segurança e a vida útil, a capacidade é menos importante.

Figura 8: Energia específica típica de baterias à base de chumbo, níquel e lítio.

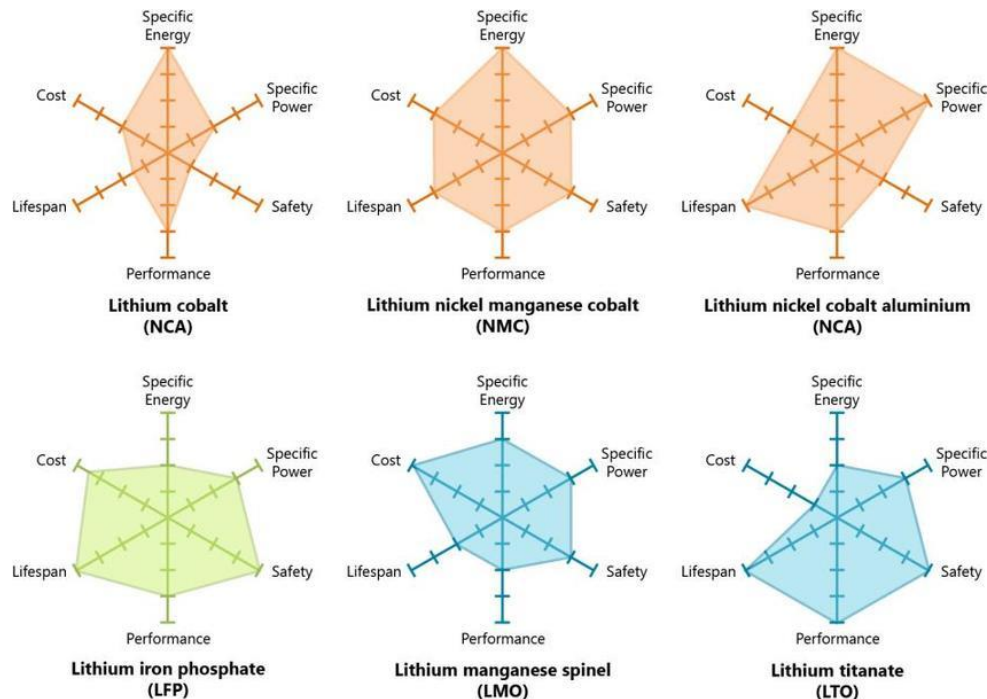


Fonte:

[https://batteryuniversity.com/learn/article/types\\_of\\_lithium\\_ion](https://batteryuniversity.com/learn/article/types_of_lithium_ion)

A figura 9 compara a energia específica, potência específica, segurança em seu uso, performance, vida útil e custo dos diversos tipos de baterias de Li-Ion, ressaltando que, no gráfico, quando mais longe do centro, maior é o fator considerado.

Figura 9 – Comparação de fatores em relação aos tipos das baterias de Li-Ion



Fonte: International Energy Agency, *Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, IEA Technology Roadmaps. OECD, 10/2011

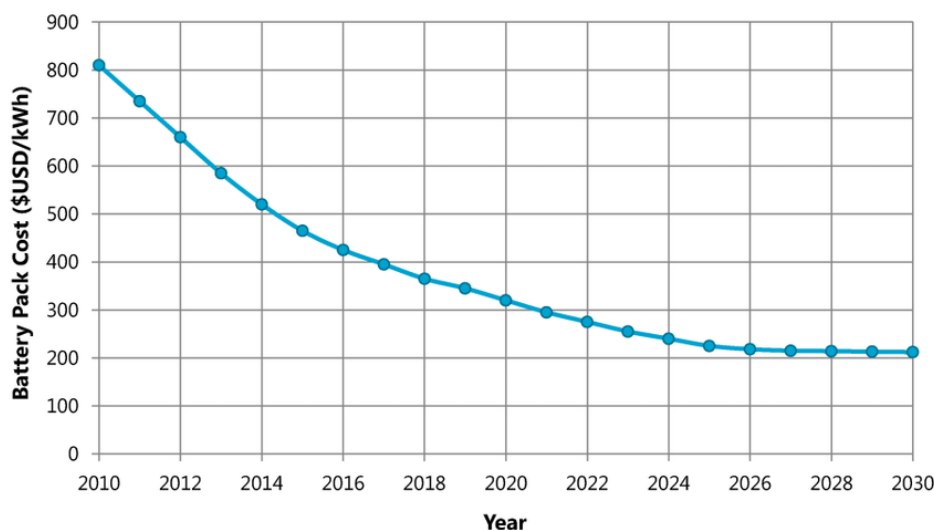
## CONCLUSÕES

Mais de três décadas depois de lançamento comercial das baterias de íons-lítio, a demanda “explodiu”, particularmente com a crescente demanda dos mercados para mobilidade como os smartphones, tablets, notebooks, veículos elétricos híbridos e plug-in, e também as necessidades de armazenar energia geradas por fotocélulas solares e eólica, dentre outras tecnologias não poluentes; está abrindo caminho para uma sociedade livre de combustíveis fósseis e reduzindo o aquecimento global. As baterias de Li-Ion têm desempenhado um papel muito importante nesse armazenamento de energia elétrica.

Por causa desse contexto, podemos notar um enorme aumento da demanda mundial do lítio, que no início representava apenas 6% da produção global destinado a baterias, mas hoje é responsável por 35%. Impulsionada pelo aumento da demanda, a produção global aumentou constantemente nos últimos anos, mais de 74% em 2017, 23% em 2018 para 85.000 toneladas de lítio, em 2018 a Austrália foi a maior produtora mundial de lítio com

51.000 toneladas, seguido pelo Chile com 16.000 toneladas, China com 8.000 toneladas e Argentina com 6.200 toneladas, de acordo com o Relatório Anual de 2019 do United States Geological Survey - USGS. Assim sendo, o custo das baterias de Li-Ion vem sendo reduzido bem como nota-se a melhora de suas características anualmente, como podemos verificar com o gráfico de custo por ano da figura 9.

Figura 9 – Evolução do custo anual das baterias de Li-Ion



Fonte: International Energy Agency, *Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, IEA Technology Roadmaps. OECD, 10/2011

Conforme afirmou Jean-Marie Tarascon, Químico do CNRS e Professor do Collège de France: "Nossa vida cotidiana depende dessa bateria de íon-lítio. Seja em nossos notebooks, computadores, carros híbridos ou elétricos, todos esses objetos eletrônicos são baseados na tecnologia de íon-lítio".

Podemos notar também, através das pesquisas para elaboração do trabalho, que a cada dia mais e mais empresas estão trabalhando incansavelmente para melhorar as características de todos os tipos de baterias de Li-Ion, baterias que inicialmente eram perigosas, com reagentes extremamente instáveis, atualmente já podem ser manuseadas quase sem preocupações. Pois em conjunto com a melhoria e o desenvolvimento desses novos tipos de baterias, os componentes eletrônicos também estão em constante adaptação para melhorar sua performance e segurança.

Mais um aspecto desta pesquisa foi a dificuldade de encontrar um estado da arte definitivo para descrever e comentar sobre esse tipo de bateria, pois diariamente sempre se encontra uma notícia mais recente sobre seu desenvolvimento e melhorias. Inclusive a entrega do Prêmio Nobel aos seus três inventores demonstra notória importância dessa bateria para a humanidade.

A importância de encontrar o estado da arte dessa bateria também pode se notar consultando o site do Google Acadêmico, que é uma referência em artigos, e pesquisando com a referência “li-ion”. Em 20/11/2019 às 20 horas e 19 minutos, foram encontradas 848.000 artigos sobre este tema. Consultando também startups, encontramos várias delas no Brasil e no exterior, trabalhando incansavelmente em sua melhoria e desenvolvimento. Com a diminuição pela proibição do uso de motores a combustão interna e a constante procura para se utilizar energias limpas e renováveis, o futuro aponta para o maior desenvolvimento e uso das baterias de Li-Ion, assim reduzindo mais o seu custo e melhorando ainda mais suas características.

## REFERÊNCIAS

SIC – Análise Comparativa da Eficiência Energética em Lâmpadas Incandescentes, Fluorescentes e Led. XXIII Seminário de Iniciação Científica, Rio de Janeiro, 01/10/2015

EXAME – Disponível em: <https://exame.abril.com.br/ciencia/entenda-a-descoberta-sobre-baterias-que-venceu-o-premio-nobel-de-quimica/>, 13/10/2019.

CORREIO – Disponível em: [https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2019/10/09/interna\\_tecnologia,795963/nobel-de-quimica-vai-para-trio-por-invencao-da-baterias-de-litio.shtml](https://www.correio braziliense.com.br/app/noticia/tecnologia/2019/10/09/interna_tecnologia,795963/nobel-de-quimica-vai-para-trio-por-invencao-da-baterias-de-litio.shtml). 09/10/2019

EIA - International Energy Agency, *Technology Roadmap: Electric and Plug-in Hybrid Electric Vehicles*, ser. IEA Technology Roadmaps. OECD, 10/2011. Disponível em: <http://www.oecd-ilibrary.org/energy/technology-roadmap-electric-and-plug-in> – 17/11/2019.

CARVALHO, ADRIANA - Baterias íon-lítio: uma revisão. Disponível em <https://medium.com/@carvalho.a.ufpe/baterias-%C3%ADon-l%C3%ADtio-uma-revis%C3%A3o-4dee15ae77a>

b. 23/10 2018.

ENERGIA – manual de baterias de íon de lítio1.pdf, 2008. Disponível em: <https://blogdokauffmann.files.wordpress.com/2008/12/manual-de-baterias-de-ion-de-litio1.pdf>.

RONTEK -Tipos de Baterias de Li-Ion. Disponível em: [http://sta-eletronica.com.br/artigo/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/tipos-de-baterias-de-li-ion?gclid=Cj0KCQiAuo\\_uBRC1ARIsAB4961XmUGtk0J9cvqIUv7blqoJRwbk19wD1iH7r68KztlgALqG7Sd0AIX0aAlj2EALw\\_wcB](http://sta-eletronica.com.br/artigo/baterias-recarregaveis/baterias-de-litio/tipos-de-baterias-de-li-ion?gclid=Cj0KCQiAuo_uBRC1ARIsAB4961XmUGtk0J9cvqIUv7blqoJRwbk19wD1iH7r68KztlgALqG7Sd0AIX0aAlj2EALw_wcB), 20/11/2019.

FEIRA LAT BUS – Build You Dreams (BYD). Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=irhLOSydHug>, 2/08/2018.