

Armazenamento de fontes renováveis: Baterias

GOMES, Eduardo. "Baterias". Agência CanalEnergia. Rio de Janeiro, 20 de dezembro de 2019.

As energias renováveis aparecem no centro das discussões para redução das emissões de CO₂ e o cumprimento da meta do Acordo Climático de Paris, porém o fator determinante de sua efetividade é o armazenamento, pois sua geração não coincide com o horário de maior demanda energética. De acordo com a Bloomberg News Energy Finance (BNEF) até 2050, quase metade da eletricidade do mundo será proveniente de fontes renováveis, à medida que os custos de eólica, solar e das baterias continuem caindo. Desde 2010, o custo da energia eólica caiu 49% e a energia solar despencou 85%. Isso as tornam mais econômicas do que as novas usinas de carvão ou gás em dois terços do mundo. Enquanto isso, os custos de armazenamento com baterias caíram 85% desde 2010.

A feira Intersolar South America deste ano contou com diversos palestrantes especializados na área, onde o armazenamento energético teve grande destaque. Um dos palestrantes, Markus Vlasits, diretor administrativo da Tayo Energia, alega que alguns obstáculos para o uso de baterias incluem o elevado investimento inicial, custos operacionais, a necessidade de carregamento constante e a segurança. Já a sua utilização é justificada por razões ecológicas, econômicas (a expansão da rede elétrica tem custo elevado) além de sociais e políticas, pois proporciona a descentralização da geração e ainda a independência de fontes externas de energia como países europeus que dependem de gás proveniente da Rússia.

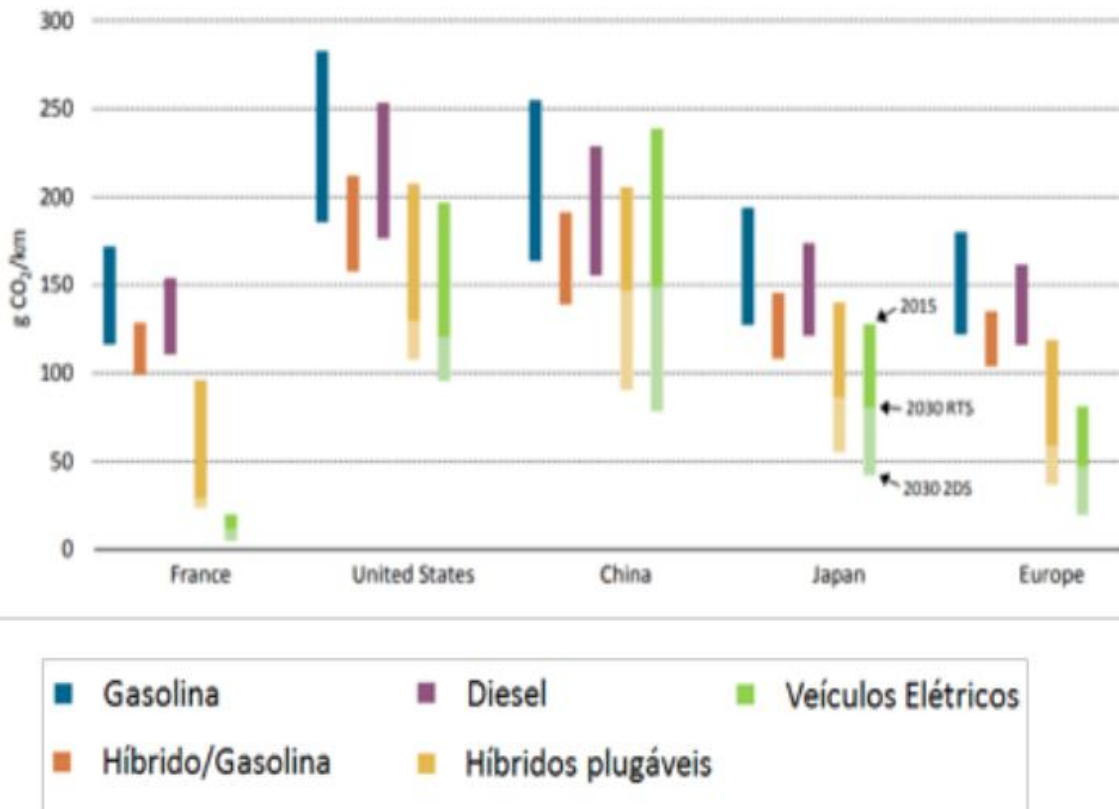
As baterias assumirão cada vez mais papel de destaque, visto que a capacidade de armazenamento de nossas hidroelétricas decaiu com o aumento de consumo energético. E ainda, as usinas mais recentes têm sido construídas no modelo fio d'água, que por questões ambientais, possuem um reservatório menor. Estudos apontam que até 2050, as fontes renováveis variáveis representarão 50% de nossa matriz energética, contra os 10% atuais, afirma Vlasits. Assim, o armazenamento é crucial para seu crescimento.

A difusão de baterias irá proporcionar vantagens tanto para consumidores, distribuidores e operadores do sistema elétrico. Os consumidores terão acesso a um sistema de backup, autonomia em sua geração de energia, poderão gerir o consumo (inserindo energia na rede no horário de ponta e captando fora dela) além de reduzir sua demanda contratada, aprimorando sua gestão. Para as distribuidoras, as baterias se tornarão ativos importantes, representarão uma reserva de capital e uma diferenciação nos seus investimentos. Já as operadoras terão maior facilidade para suprir sistemas isolados.

Os veículos elétricos têm o potencial de reduzir a poluição nos centros urbanos. Um estudo da Universidade de Chicago aponta que a poluição do ar é a maior ameaça à saúde humana, reduzindo a expectativa de vida em impressionantes 10 anos para moradores de Nova Delhi e grandes partes do norte da Índia. Na média global, essa redução é de quase 2 anos, superando 6 anos em muitas regiões da China.

A grande maioria dos estudos, como o da Agência Internacional de Energia, afirma que a sustentabilidade das baterias de lítio é muito melhor do que a dos motores de combustão interna. A sustentabilidade de cada solução é medida pelas emissões equivalentes de CO₂ em todo o ciclo de vida do produto (fabricação, uso, fim de vida). A figura abaixo mostra que, hoje, somente na China motores a diesel emitem menos do que veículos elétricos à bateria. Porém esse cenário muda

radicalmente com o tempo, isso porque a China obtém energia principalmente a partir do carvão, mas está em transição para fontes mais limpas.



Emissões de CO₂ no ciclo de vida para cada tecnologia de transmissão de veículos. O limite superior de cada barra mostra as emissões estimadas em 2015. O cenário RTS (reference technology scenario), no centro da barra, mostra as emissões em 2030, reflete projeções relacionadas a políticas de eficiência energética e qualidade do ar anunciadas ou em elaboração e estima 56 milhões de carros elétricos em circulação. No limite inferior da barra, o cenário 2DS (two degree scenario) ambiciona o número de carros elétricos em 160 milhões, num contexto de 50% de probabilidade de limitar o aumento esperado da temperatura global em 2°C. Imagem: Agência Internacional de Energia, disponível em.

Baterias recarregáveis

As baterias de lítio oferecem inúmeras vantagens em relação às outras tecnologias, uma das mais importantes é a sua elevada densidade energética, permitindo o funcionamento prolongado de equipamentos enquanto possui apenas uma fração do peso e volume, além de possibilitarem muito mais ciclos de carregamento. Essas características farão com que o lítio seja importantíssimo para a mobilidade urbana com a difusão dos veículos elétricos.

Níquel-Cádmio (NiCd) é uma tecnologia mais antiga que não está muito em uso atualmente, porém ainda pode ser útil por conta de suas peculiaridades como tolerância a temperaturas extremas e longo ciclo de vida. Enquanto todas as outras químicas preferem uma descarga superficial e correntes de carga moderadas, ela é uma bateria robusta onde trabalhos pesados não representam um empecilho. De fato, é o único tipo de bateria que tem boa performance sob condições de trabalho severas. Não é aconselhável deixá-la em carregadores por dias e usá-la ocasionalmente por breves períodos, uma descarga periódica é importante devido ao “efeito memória”. Trata-se da bateria mais econômica em termos de custo por ciclo.

Para a maioria dos dispositivos eletrônicos, é melhor usar baterias Níquel-Metal-Hidreto (NiMH) do que NiCd. A NiMH é mais ecológica por não ter cádmio em sua composição, um metal pesado altamente tóxico, e geralmente tem maior capacidade. Apesar do NiCd oferecer taxas de descarga mais rápidas, a diferença não é relevante para aplicações como câmeras digitais ou aparelhos de música portáteis. No entanto, para o acionamento de ferramentas portáteis de torque elevado, NiCd poderá ser superior. É amplamente difundida a ideia de que NiMH é um passo intermediário para a tecnologia lítio-íon.

A densidade energética do li-ion é normalmente o dobro da NiCd, suas características de carga são razoavelmente boas e se comportam de forma similar. Sua curva de descarga uniforme permite uma utilização eficiente da energia armazenada na faixa desejada de voltagem. A autodescarga do lítio é muito menor, geralmente 5% nas primeiras 4 horas após a carga, depois caindo para 1 ou 2% ao mês, além disso, necessita de pouca manutenção, já que não é preciso realizar descargas periódicas por não possuir o “efeito memória” . Um comparativo entre os níveis de autodescarga para as diferentes tecnologias é apresentado na tabela abaixo.

Tabela – Níveis de autodescarga para baterias de lítio, chumbo ácido e a base de níquel

Sistema de Bateria	Autodescarga Estimada
Chumbo Ácido	5% por mês
Base de Níquel	10–15% em 24h, depois 10-15% por mês
Íons de lítio	5% em 24h, depois 1–2% por mês (mais 3% ao mês com circuito de proteção)

Na maioria das vezes, a bateria de lítio é superior às demais devido a sua confiabilidade e eficiência, entre outros atributos. No entanto, em casos de pequenos sistemas de armazenamento off-grid que não são utilizados com frequência, chumbo ácido é uma opção de menor custo que pode ser preferível.

Entre os pontos negativos do lítio-íon estão sua fabricação de custo elevado, pode sofrer restrições no transporte, não é uma tecnologia madura, é frágil e requer um circuito de proteção para uma operação segura. Apesar de funcionar numa ampla faixa de temperatura, quando excede seu limite é desligada por completo, ou pega fogo.

A tabela abaixo traz um resumo comparativo entre as baterias de lítio (óxido de cobalto e ferro fosfato) com as de chumbo ácido e a base de níquel (NiCd e NiMH).

Tabela – Comparação entre baterias de lítio, chumbo ácido, NiCd e NiMH

Característica	LiCoO ₂ (LCO)	LiFePO ₄ (LFP)	Chumbo Ácido	NiCd	NiMH
Tensão Nominal por Célula	3,7	2,5 - 3,6	2	1,2	1,2
Energia Específica (Wh/kg)	175-200	60-110	30-40	35-80	55-110
Ciclo de Vida	500-1000	2000	200-300	500-1500	300-500
Vida Útil (anos)	>5	>5	2-8	5-7	5-10
Tempo Carga Rápida	2-4h	2-4h	8-16h	1h	2-4h
Temperatura ambiente durante descarga (°C)	-20-60	-30-60	-20-60	-40-60	-20-65
Efeito Memória	Não	Não	Não	Sim	Sim, menor que NiCd
Necessita sistema gerenciamento	Sim	Sim	Não	Não	Não

Baterias de lítio – Acidentes com Incêndios e Explosões

Apesar das inúmeras vantagens, tem surgido preocupações sobre a segurança dessa tecnologia. Nos últimos anos, apareceram relatos de explosões de baterias de lítio. Muitos culpam o uso de carregadores piratas, mas essa não é a causa principal, pois trata-se de um problema inerente delas, afirma o palestrante da Intersolar Estelito Rangel Júnior, consultor de sistemas industriais e instalações em lugares de alta periculosidade. Alguns exemplos de explosões incluem lanternas em operação em minas devido à reação com o metano, o Samsung Galaxy Note 7 que sofreu recall, um caso num aeroporto (2017), em um avião da Delta (2018) e um veículo Tesla em um estacionamento (2019).

Em uma bateria de lítio, o ânodo e o cátodo são isolados um do outro através de um separador que, com o tempo, pode se desgastar. O seu rompimento faz com que grandes quantidades de corrente fluam diretamente entre os polos, causando um curto-circuito na célula e produzindo enormes quantidades de energia térmica que ficam contidas na bateria, essa falha é chamada de fuga térmica (thermal runaway).

A fuga térmica da bateria de lítio é o início de uma reação em cadeia incontrolável. A temperatura aumenta rapidamente e a energia armazenada é liberada repentinamente. Como resultado, o eletrólito se decompõe liberando gases inflamáveis e tóxicos, começa um incêndio que dificilmente pode ser extinto por meios convencionais, o cátodo então começa a se decompor, liberando oxigênio, acelerando ainda mais o processo. Quando os gases eletrolíticos inflamáveis reagem com o oxigênio na presença de calor, ocorre combustão. O risco de explosão aumenta à medida que a pressão na célula se acumula.

Os riscos de incêndios e explosões são um problema inerente a tecnologia. Eles ocorrem com a formação de dendritos, crescimento sobre o ânodo, podendo crescer por toda a bateria. O problema

especificações do fabricante, ou ainda, devido a correntes excessivas na carga ou descarga, a exemplo de quando é feito o carregamento rápido.

Segundo Rangel, algumas soluções incluem melhorar o separador do eletrólito, por exemplo, com Zylon, polímero com resistência similar ao Kevlar, ou escolher um eletrólito diferente. Testes com eletrólito sólido se mostraram promissores, sem relatos de explosões.

Tipos de baterias de lítio

Quando se fala em “Bateria de Lítio” pode-se pensar que se trata de uma única bateria ou tecnologia, porém existem diversas químicas de íons de Lítio únicas que estão todas contidas em uma classe maior de células Li-ion. Elas geralmente têm em comum um material de ânodo idêntico ou similar (polo negativo), mas possuem materiais de cátodo únicos (polo positivo).

Suas diferentes químicas são identificadas por abreviaturas como LCO (Lítio-Óxido-de- Cobalto), LMO (Lítio-Óxido-de-Manganês), NMC (Níquel-Manganês-Óxido-de-Cobalto), LFP (Lítio-Ferro-Fosfato), NCA (Níquel-Cobalto-Óxido-de-Alumínio) e LTO (Lítio-Titanato). É preciso conhecer as tecnologias disponíveis para obter maior eficiência na aplicação das mesmas.

LCO – Lítio Óxido de Cobalto

A elevada energia específica torna o lítio-cobalto uma escolha popular para telefones celulares, laptops e câmeras digitais. Suas desvantagens são a vida útil relativamente curta, baixa estabilidade térmica e capacidade de cargas limitadas. Elas estão perdendo espaço para lítio-manganês, especialmente NMC e NCA, por conta do custo elevado do cobalto e pela melhora de performance ao misturar com outros materiais ativos de cátodo.

LMO – Lítio Óxido de Manganês

A baixa resistência interna da célula permite carregamento rápido e descarga em corrente elevada. Possui alta estabilidade térmica e segurança aprimorada, mas seus ciclos e vida útil são limitados. O Li-manganês tem uma capacidade que é aproximadamente um terço menor que o Li-cobalto. A flexibilidade em seu design permite que os engenheiros maximizem a bateria para longevidade ideal (vida útil), máxima corrente de carga (potência específica) ou alta capacidade (energia específica).

NMC – Lítio Níquel Manganês (Óxido de) Cobalto

Um dos sistemas de íons de lítio mais bem-sucedidos, o segredo do NMC está na combinação de níquel e manganês. O níquel é conhecido por sua alta energia específica, mas estabilidade ruim; o manganês tem o benefício de formar uma estrutura com baixa resistência interna, mas oferece uma energia específica pequena. A combinação dos metais aprimora os pontos fortes de cada um. Os fabricantes têm se afastado dos sistemas de cobalto em direção a cátodos de níquel devido ao custo elevado. Além disso, sistemas à base de níquel têm maior densidade energética e vida útil, mas possuem uma voltagem ligeiramente mais baixa.

Há um movimento em direção ao combinado Lítio-NMC, pois o sistema pode ser construído de forma econômica, além de atingir um bom desempenho. Os três materiais ativos de níquel, manganês e cobalto podem ser facilmente misturados para atender a uma ampla gama de aplicações em sistemas automotivos e de armazenamento de energia (SAE) que necessitam de ciclos de recarga frequentes.

LFP – Lítio Fosfato de Ferro

Lítio-fosfato oferece boa performance eletromecânica com baixa resistência. Os principais benefícios são alta corrente nominal e ciclos de vida longos, além de boa estabilidade térmica, segurança e tolerância aprimoradas.

São mais tolerantes a condições de carga total e sofrem menos desgaste quando submetidas a altas tensões por tempo prolongado. Sua autodescarga é mais elevada do que outras baterias de lítio, o que pode causar problemas de equilíbrio com o envelhecimento. Isso pode ser atenuado comprando células de alta qualidade e/ou usando eletrônica de controle sofisticada, as quais aumentam o custo do pacote.

NCA – Lítio Níquel Cobalto (Óxido de) Alumínio

Compartilha semelhanças com o NMC, oferecendo alta energia específica, potência específica razoavelmente boa e uma vida útil longa. Menos atraentes são segurança e o seu custo. NCA é uma

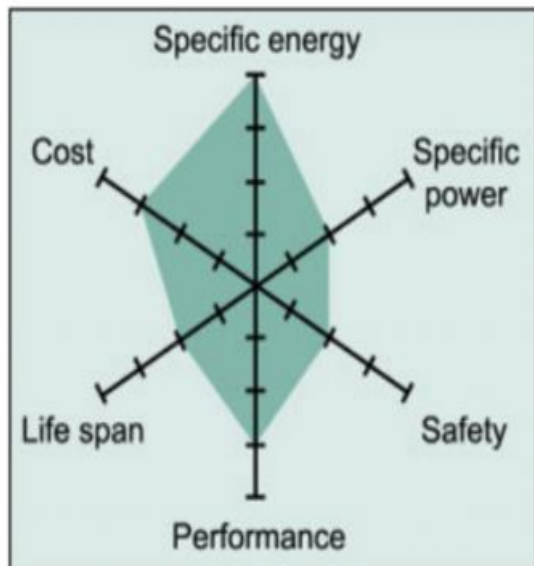
evolução do óxido de níquel e lítio; a adição de alumínio confere à química maior estabilidade.

LTO – Lítio Titanato

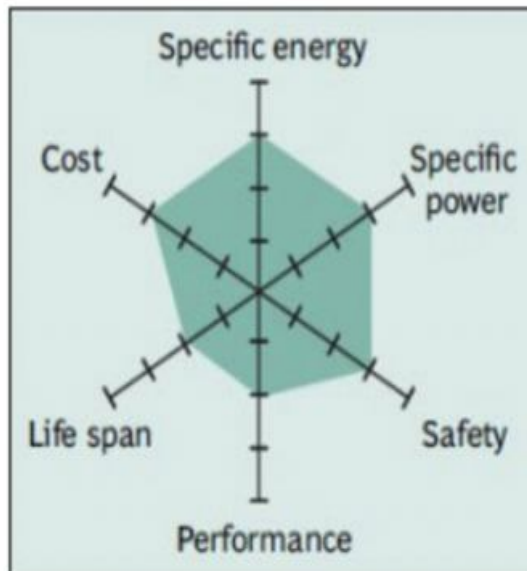
O Titanato de Lítio é seguro, possui excelentes características de descarga em baixa temperatura e obtém uma capacidade de 80% a -30°C . A estabilidade térmica sob alta temperatura também é melhor do que outros sistemas de lítio; no entanto, a bateria é cara. Os usos típicos são transmissões elétricas, no-breaks e iluminação pública movida a energia solar.

Os gráficos hexagonais em área abaixo resumem a performance das baterias de lítio em termos de energia específica (característica relacionada ao tempo de operação), potência específica (capacidade de entregar correntes elevadas), segurança e performance a temperaturas extremas; vida útil (refletindo ciclo de vida e longevidade) e custo. Outras características de interesse omitidas nos gráficos são toxicidade, capacidade de carga rápida, auto descarga e “vida de prateleira”.

LCO



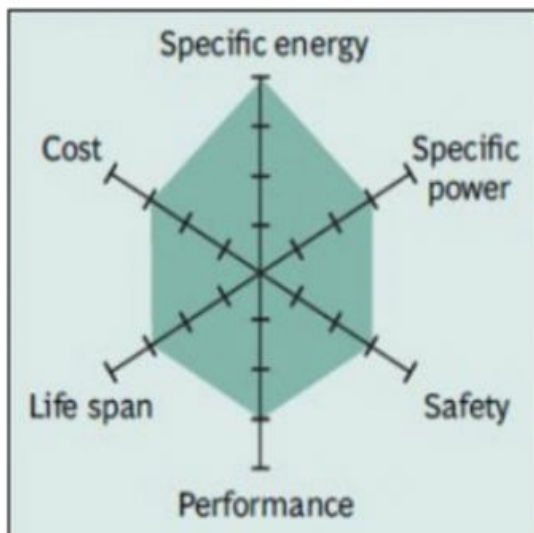
LMO



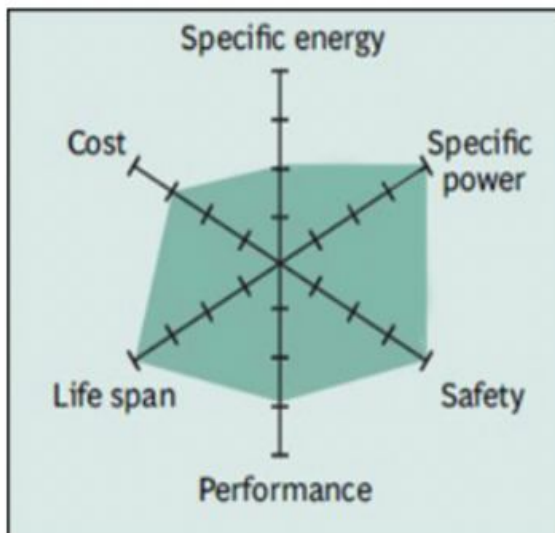
LCO – O lítio-cobalto se destaca pela elevada energia específica, mas oferece desempenho, potência específica e segurança moderados. Imagem: Cadex.

LMO – Apesar de desempenho geral moderado, os designs mais recentes de Li-manganês oferecem melhorias em potência específica, segurança e vida útil. Imagem: Boston Consulting Group.

NMC



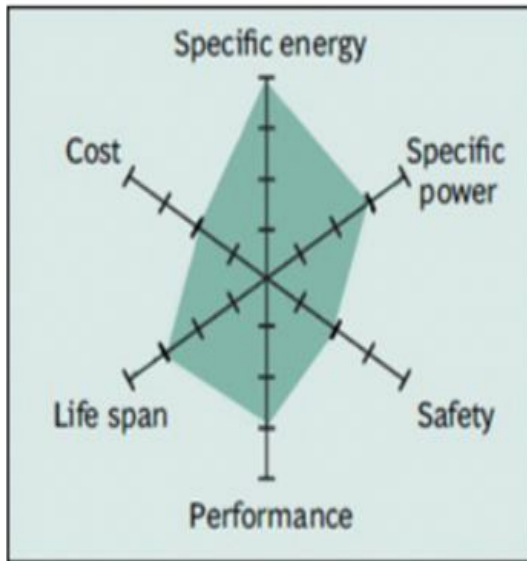
LFP



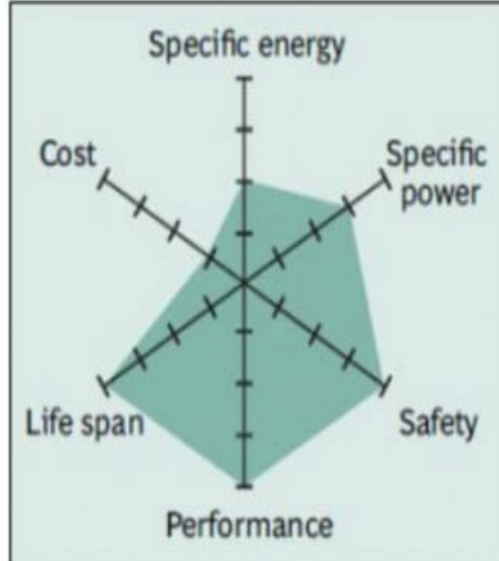
NMC – Tem um bom desempenho geral e se destaca em energia específica. Esta bateria é a candidata preferida para o veículo elétrico e tem a menor taxa de auto-aquecimento. Imagem: Boston Consulting Group.

LFP – O lítio-fosfato possui excelente segurança e longa vida útil, mas energia específica moderada e autodescarga elevada. Imagem: Cadex.

NCA

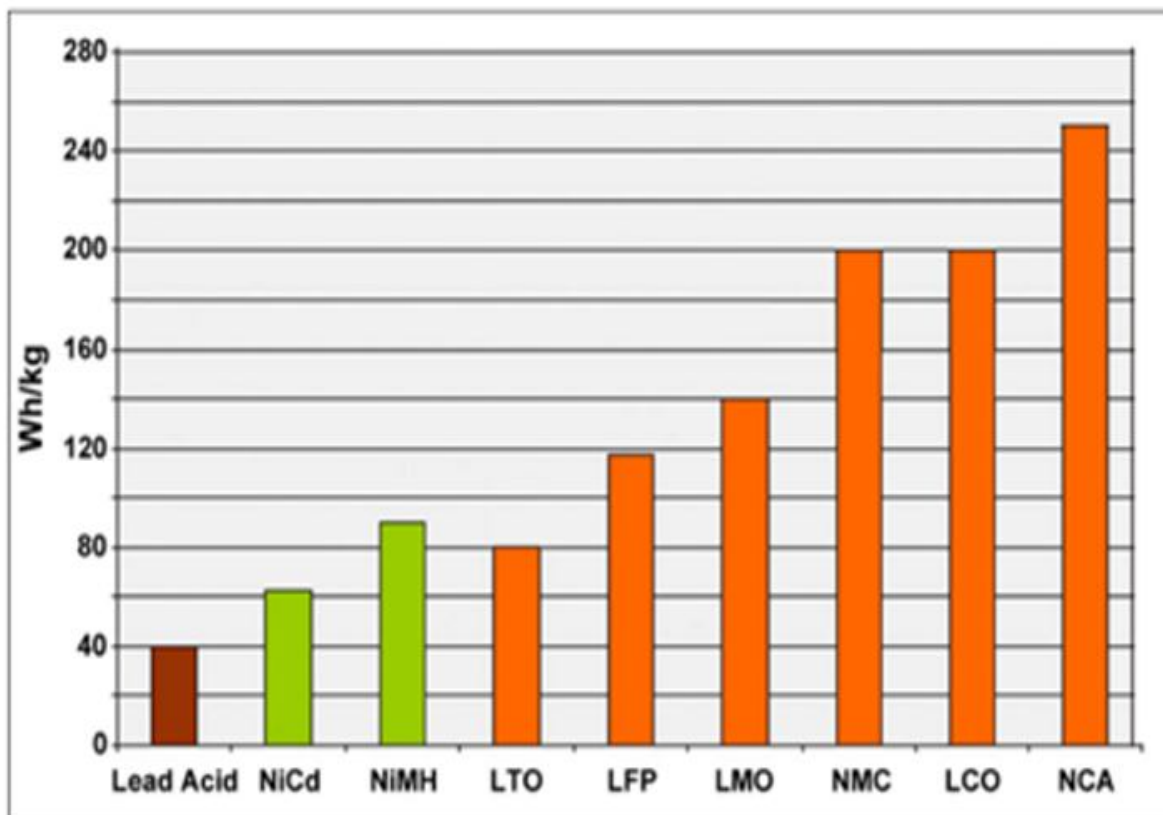


LTO



NCA – Altas densidades de energia e potência, bem como uma boa vida útil, tornam a NCA candidata para a transmissão nos veículos elétricos. Alto custo e segurança marginal são negativos. Imagem: Cadex.

LTO – O lítio-titanato é excelente em segurança, desempenho em baixa temperatura e vida útil. Esforços estão sendo feitos para melhorar a energia específica e reduzir os custos. Imagem: Boston Consulting Group.



A NCA desfruta da energia específica mais elevada; no entanto, manganês e fosfato são superiores em termos de potência específica e estabilidade térmica. O Titanato de lítio tem a melhor vida útil. Imagem: Cadex.

A tabela abaixo traz um resumo comparativo entre as diferentes químicas de lítio e as recomendações de diferentes aplicações para as quais foram concebidas cada tecnologia.

Tabela – Comparação entre as diferentes químicas de Lítio.

Eletrodo Positivo	LCO	NCA	NMC	LMO		LFP
Eletrodo Negativo	Grafite	Grafite	Grafite	Grafite	Lítio Titanato	Grafite
Otimizado para	Energia	Energia	Energia e Potência	Potência	Ciclo de Vida	Potência
Energia Específica (Wh/kg)	175-240	175-240	100-240	100-150	70	60-110
Ciclo de Vida	500-1000	500	1000-2000	300-700	3.000-7.000	+2000
Temperatura ambiente durante carga/descarga (°C)	0-45	0-45	0-45	0-45	-20-45	0-45
	-20-60	-20-60	-20-60	-30-60	-30-60	-30-60
Temperatura de Fuga Térmica (°C)	150	150	210	250	Não Ocorre *	270
Aplicações	Celulares, tablets, notebooks, cameras	Instrumentos médicos, industriais, transmissões elétricas (Tesla)	Intrumentos médicos, industriais, bicicletas elétricas, veículos elétricos	Ferramentas elétricas, instrumentos médicos, transmissões de veículos elétricos	Nobreak, transmissões de veículos elétricos, Iluminação pública com energia solar	Demandas de correntes e resistência elevadas (portátil ou estacionária)

*Trata-se de uma das baterias mais seguras, como o lítio-titanato é completamente livre de carbono, ela consegue evitar a fuga térmica ou sobreaquecimento que é a principal causa de incêndios em sistemas de armazenamento tradicionais.

Tesla: A bateria de 1.600.000 km de autonomia

Em artigo intitulado “Uma ampla gama de resultados de testes em uma excelente química de células de íons de lítio para ser usada como referência para novas tecnologias de bateria” (A Wide Range of Testing Results on an Excellent Lithium-Ion Cell Chemistry to be used as Benchmarks for New Battery Technologies), pesquisadores da Tesla divulgaram testes de uma nova célula de bateria que poderia alimentar um veículo elétrico por mais de 1,6 milhão de km.

Os autores apresentam resultados de testes em células $\text{Li}[\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}]\text{O}_2$ / grafite sintético (NMC532/AG). Nos últimos 10 anos, o grupo de pesquisa Dalhousie testou uma ampla variedade de células de íons de lítio com eletrodos e eletrólitos diversos. De todas as células testadas, aquelas com a maior vida útil são as células com o cristal único NMC532/AG com os eletrólitos otimizados.

Como o título sugere, o objetivo da pesquisa é que ela sirva como referência para acadêmicos e empresas que desenvolvem células avançadas de lítio e outras químicas “além do lítio” para, esperançosamente, melhorá-las. Esses resultados são muito superiores aos utilizados pelos pesquisadores até então, como tal, são mais representativos das células de íons de lítio modernas e devem ser adotados para pesquisas futuras.

Os testes incluem ciclos de carga e descarga por longos períodos a temperaturas de 20, 40 e 55°C, longos períodos de armazenamento nas mesmas temperaturas e coulometria de alta precisão a 40°C. Vários eletrólitos diferentes são considerados na química de $\text{Li}[\text{Ni}_{0.5}\text{Mn}_{0.3}\text{Co}_{0.2}]\text{O}_2$ / grafite, incluindo aqueles que podem promover carregamento rápido. As razões para a degradação do desempenho da célula e crescimento da impedância também são examinadas sob métodos variados. A conclusão é de que células desse tipo devem poder alimentar um veículo elétrico por mais de 1,6 milhão de quilômetros (1 milhão de milhas) e durar pelo menos duas décadas conectadas à rede para armazenamento de energia.

As células de lítio estão sendo usadas no armazenamento de energia na rede e em veículos elétricos,

onde a longa vida útil é extremamente importante. No momento, muitas dessas aplicações geralmente não são tão exigentes quanto parecem. Isso ocorre porque pode ser raro que as células sejam submetidas a ciclos de 100% de profundidade de descarga DoD (depth of discharge) repetidas vezes, diariamente ou várias vezes ao dia. Por exemplo, uma pesquisa demonstrou que a distância média diária de condução de veículos a gasolina nos EUA era de 52 km e que a maior parte das necessidades diárias de distância percorridas estão no intervalo de 0 a 80 km. Para um veículo elétrico com autonomia de 300 ou 400 km, isso representa cerca de 25% da DoD diária. Muitos pesquisadores demonstraram que a vida útil das células de lítio, medida na taxa de transferência acumulada de carga, é muito mais longa quando se aplicam ciclos de trabalho com DoD baixos.

Essa situação pode mudar com a proposta de inserção dos “táxis robóticos”, caminhões elétricos de longo curso e aplicações de veículos ligados à rede. No primeiro caso, os veículos estarão rodando o dia todo, como um táxi convencional e passando por ciclos de DoD de quase 100%. É quase certo que caminhões de longo curso irão rodar em situações de DoD próximas de 100%. As células nos veículos ligados à rede acumularão ciclos de carga-descarga, mesmo com ele estacionado. Claramente, os veículos elétricos destinados a essas aplicações favoreceriam uma química de íons de lítio que poderia oferecer muito mais ciclos de carga-descarga em uma década do que um veículo destinado à condução típica de passageiros onde o ponto central é uma alta densidade de energia para dar a maior autonomia para viagens de fim de semana.

Recentemente, o ciclo e a vida útil das células NMC/grafite sofreram uma melhora drástica. Além disso, muitos pesquisadores, OEMs e usuários de baterias acreditam que a vida útil das células LFP/grafite são superiores às células NMC/grafite. Os autores acreditam ser importante disseminar dados do estado-de-arte das células NMC/grafite para ajudar nos esforços futuros de modelagem e fornecer referências modernas tanto para tecnologias antigas como de novas células. (20.12.2019)

Eduardo Gomes é engenheiro mecânico formado pela Universidade Federal de Santa Catarina com mestrado em engenharia mecânica e especialização em energia solar pela University of Massachusetts .