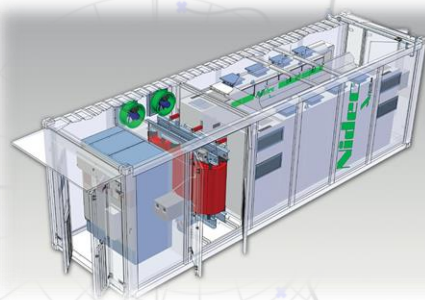




Revisão sobre tecnologias de baterias

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



Tópicos a serem abordados

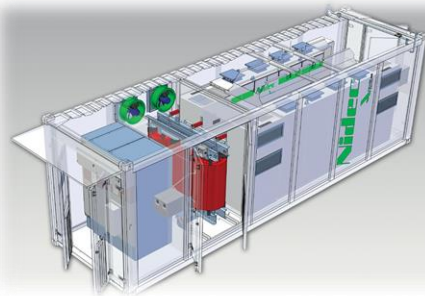
- Introdução;
- Tecnologias de baterias;
- Aspectos técnicos – baterias de chumbo ácido
- Aspectos técnicos – baterias de lítio-íon.





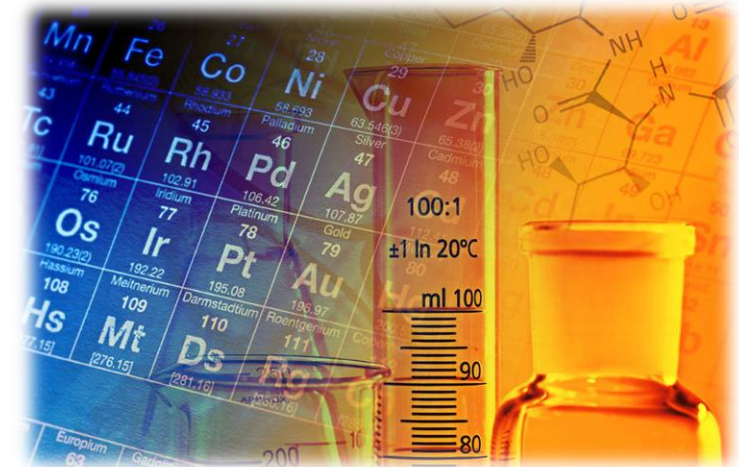
Introdução: Armazenamento eletroquímico

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



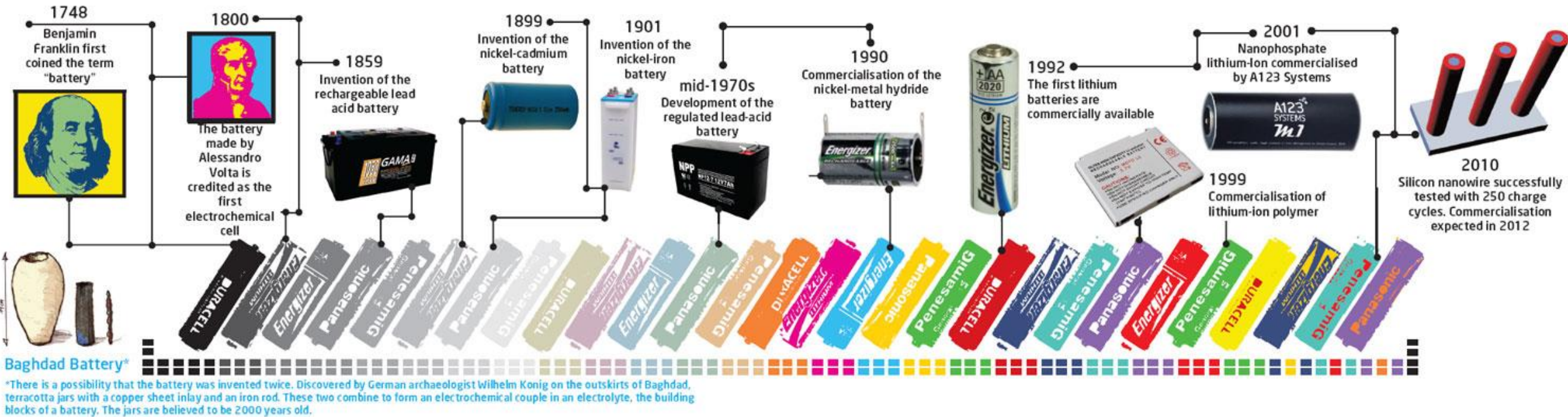
Armazenamento eletroquímico de energia

- ❑ Unidade básica de conversão → célula eletroquímica;
- ❑ Conversão de energia química em elétrica;
- ❑ Reações de óxido redução;
- ❑ Material eletrolítico e dois condutores (cátodo e ânodo);
- ❑ Eficiência em torno de 80 a 90 %;
- ❑ Invenção atribuída a Alexandre Volta, em 1800.



Linha do tempo – Tecnologia de baterias

HISTORY OF THE BATTERY



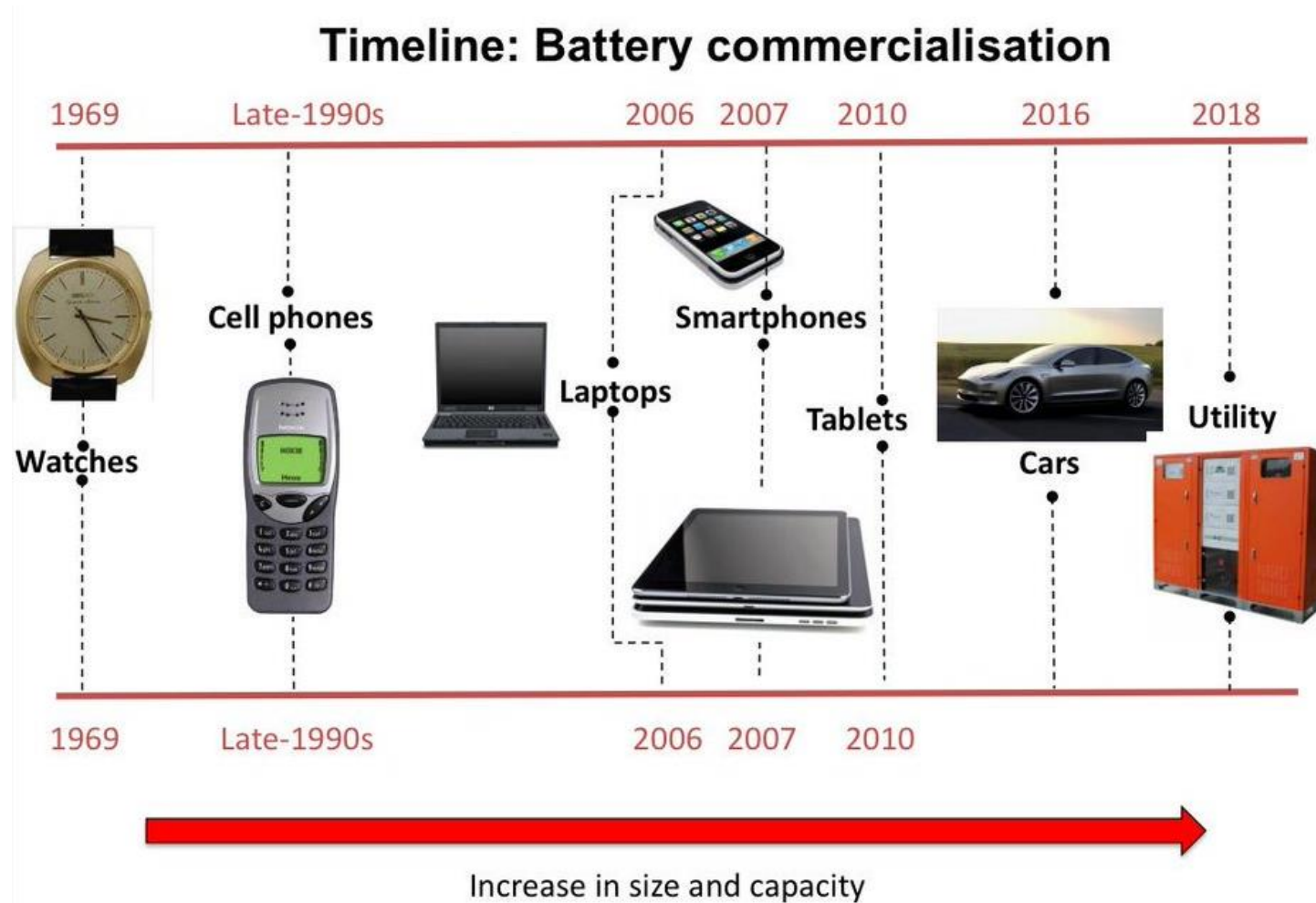
Fonte: <https://www.upsbatterycenter.com/blog/history-batteries-timeline/>

Linha do tempo – Tecnologia de baterias

Year	Invention	Inventor
1836	Invention of the Daniell cell	John F. Daniell (UK)
1839	Invention of the fuel cell (H ₂ /O ₂)	William Robert Grove (UK)
1859	Invention of the lead acid battery	Gaston Planté (France)
1868	Invention of the Leclanché cell (carbon-zinc)	Georges Leclanché (France)
1881	Invention of lead grid lattice (current system)	Camile Alphonse Faure (France)
1899	Invention of the nickel-cadmium battery	Waldemar Jungner (Sweden)
1901	Invention of the nickel-iron battery	Thomas A. Edison (USA)
1932	Invention of the sintered pole plate	Schlecht & Ackermann (Germany)
1947	Successful sealing of the nickel-cadmium battery	Georg Neumann (Germany)
1949	Invention of the alkaline-manganese battery	Lewis Urry, Eveready Battery
1970s	Development of valve-regulated lead acid battery	Group effort
1990	Commercialization of nickel-metal-hydride battery	Group effort
1991	Commercialization of lithium-ion battery	Sony (Japan)
1994	Commercialization of lithium-ion polymer	Bellcore (USA)
1995	Introduction of pouch cell using Li-polymer	Group effort
1995	Proposal of industry standard for SMBus	Duracell and Intel
1996	Introduction of Li-ion with manganese cathode	Moli Energy (Canada)
1996	Identification of Li-phosphate (LiFePO ₄)	University of Texas (USA)
2002	Improvement of Li-phosphate, nanotechnology, commercialization	University of Montreal, Quebec Hydro, MIT, others
2002	Various patents filed on nanomaterials for batteries	Group effort

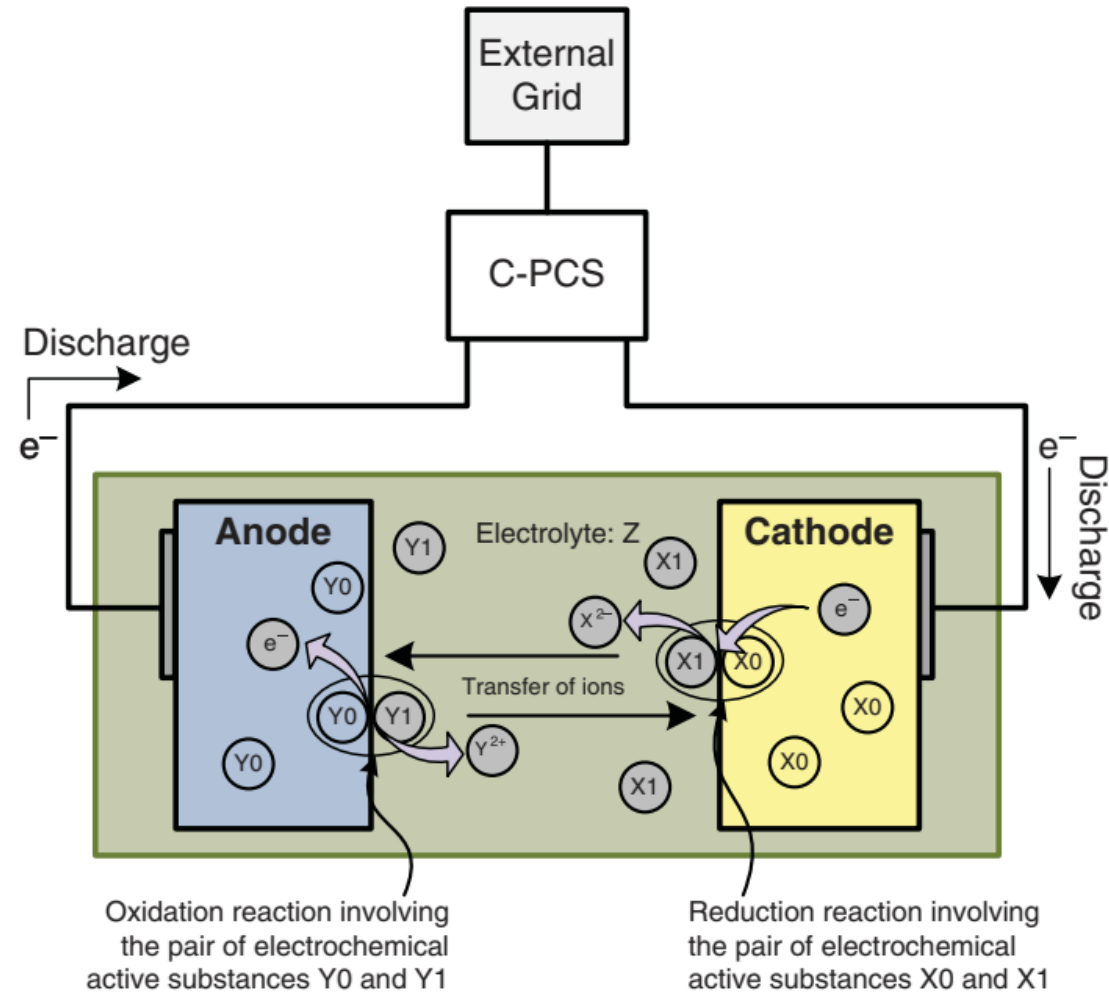
Fonte: D. Akinyele, J. Belikov e Y. Levron. "Battery Storage Technologies for Electrical Applications: Impact in Stand-Alone Photovoltaic Systems," Energies, 2017.

Linha do tempo – Mercado de baterias



Fonte: Benchmark Mineral Intelligence

Armazenamento eletroquímico de energia

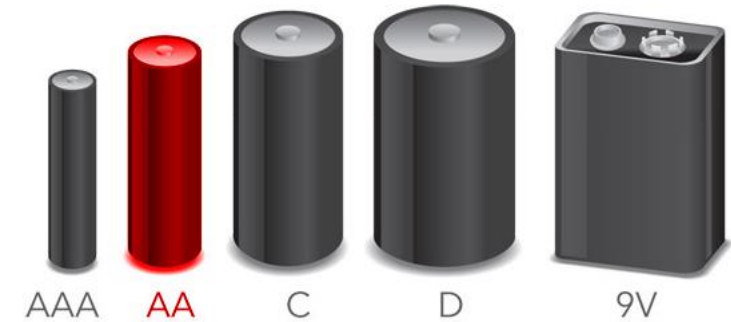


Fonte: F. Díaz González, A. Sumper e O. Gomis-Bellmunt, "Energy Storage in power systems," John Wiley & Sons, 2016.

Classificação quanto a capacidade de recarga

❑ Células primárias

- Alta densidade de energia e densidade específica de energia;
- Descartáveis após uma descarga completa.
- Tecnologia mais antiga



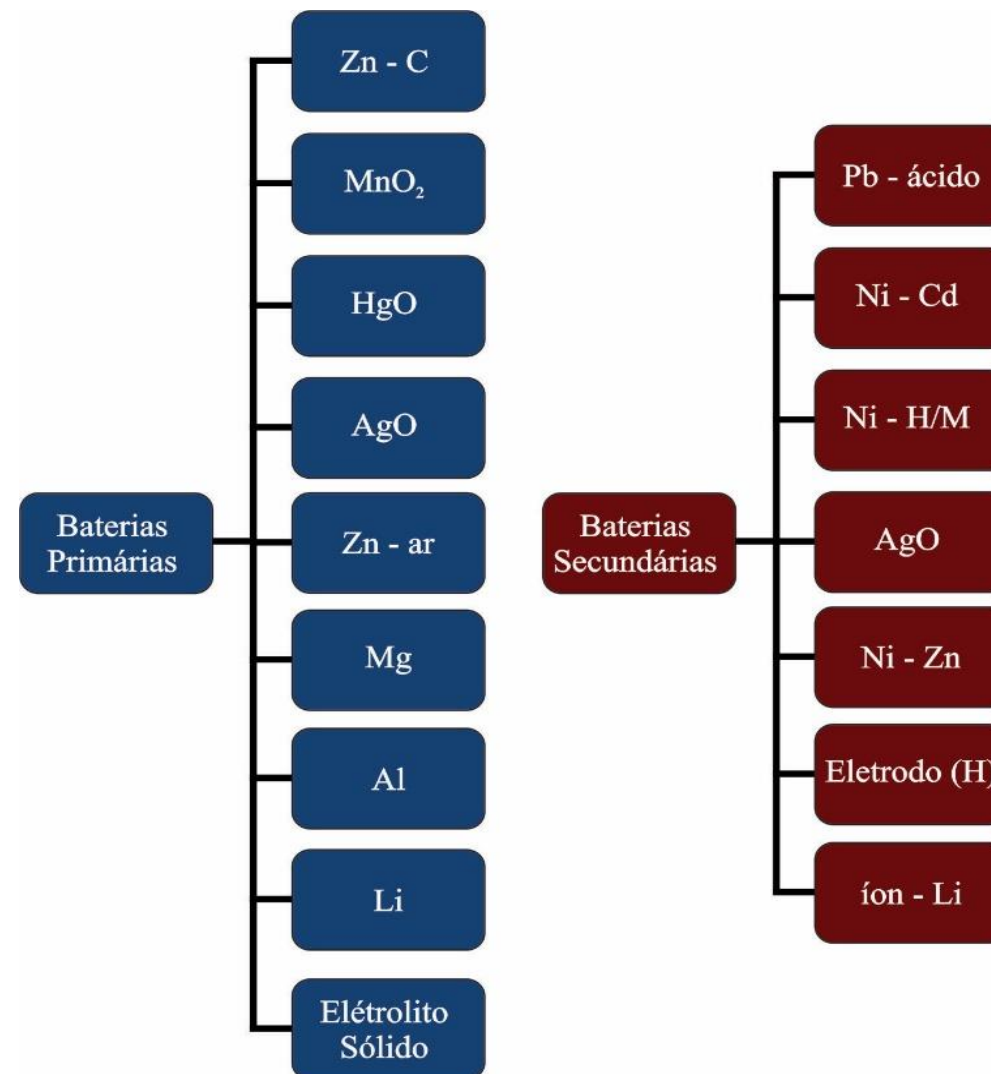
❑ Células secundárias

- Características inferiores às células primárias;
- Possibilidade de uso por diversos ciclos de operação.

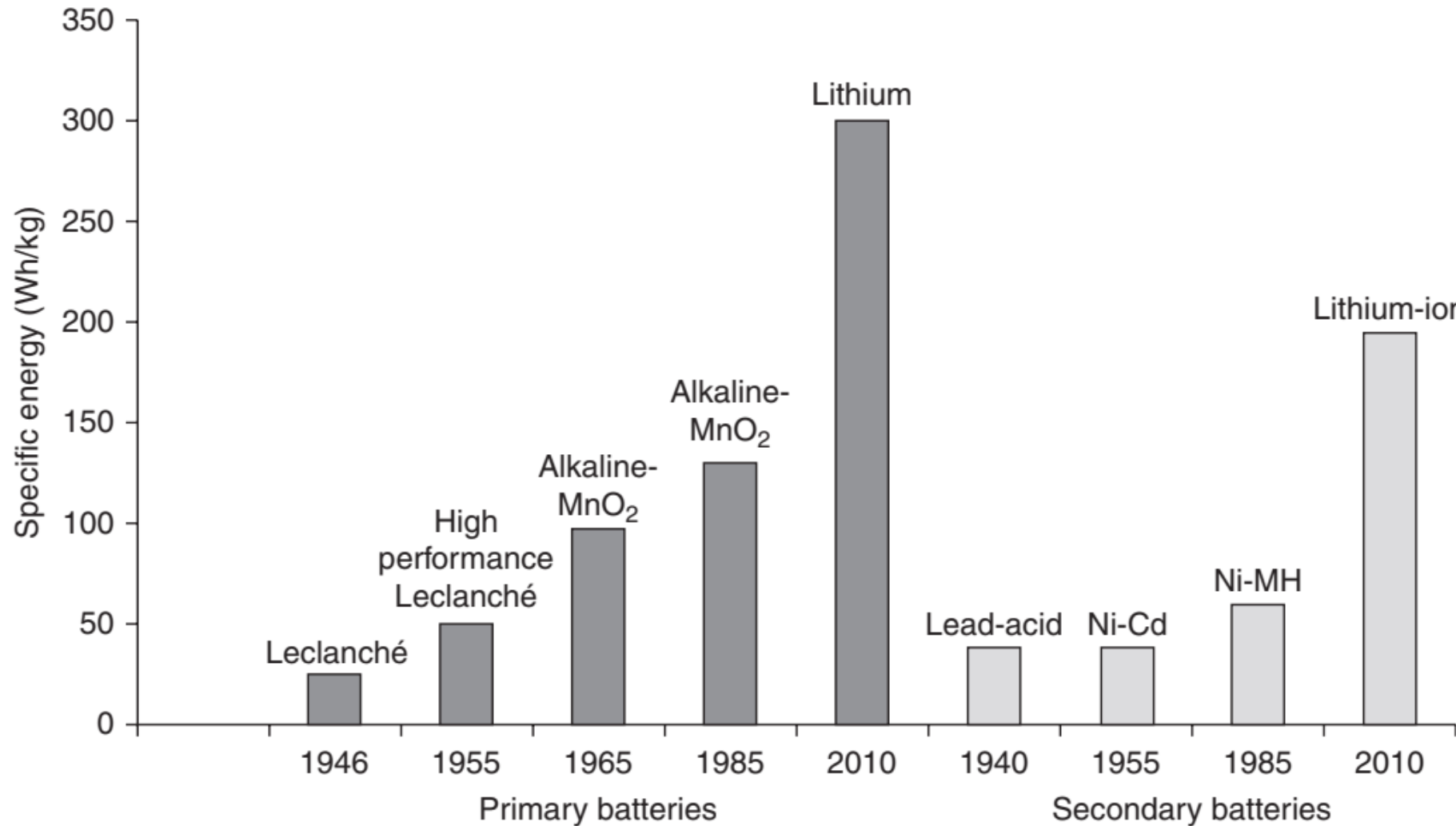


Fonte: F. Díaz González, A. Sumper e O. Gomis-Bellmunt, "Energy Storage in power systems," John Wiley & Sons, 2016.

Principais químicas de baterias primárias e secundárias

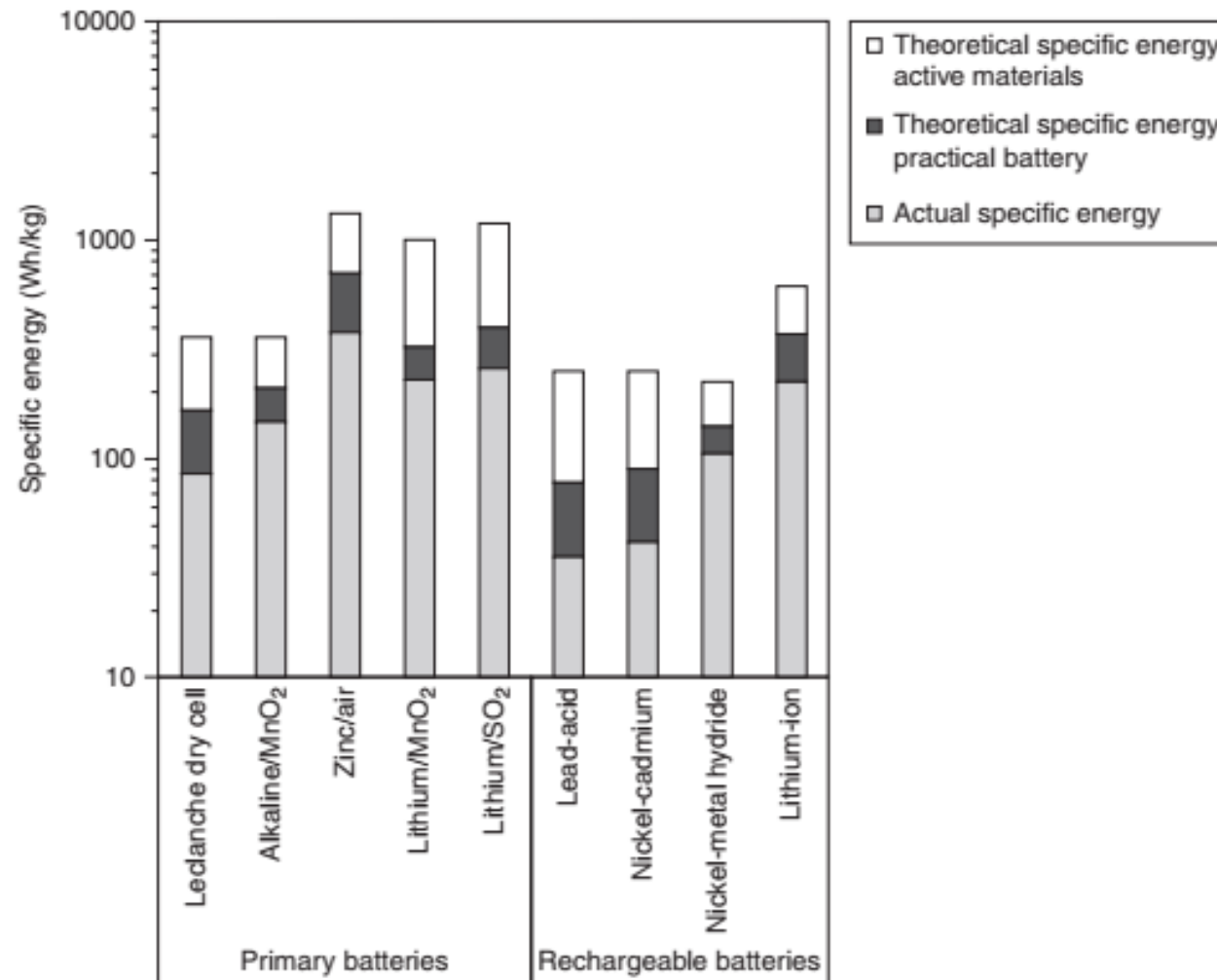


Evolução das tecnologias de baterias primárias e secundárias



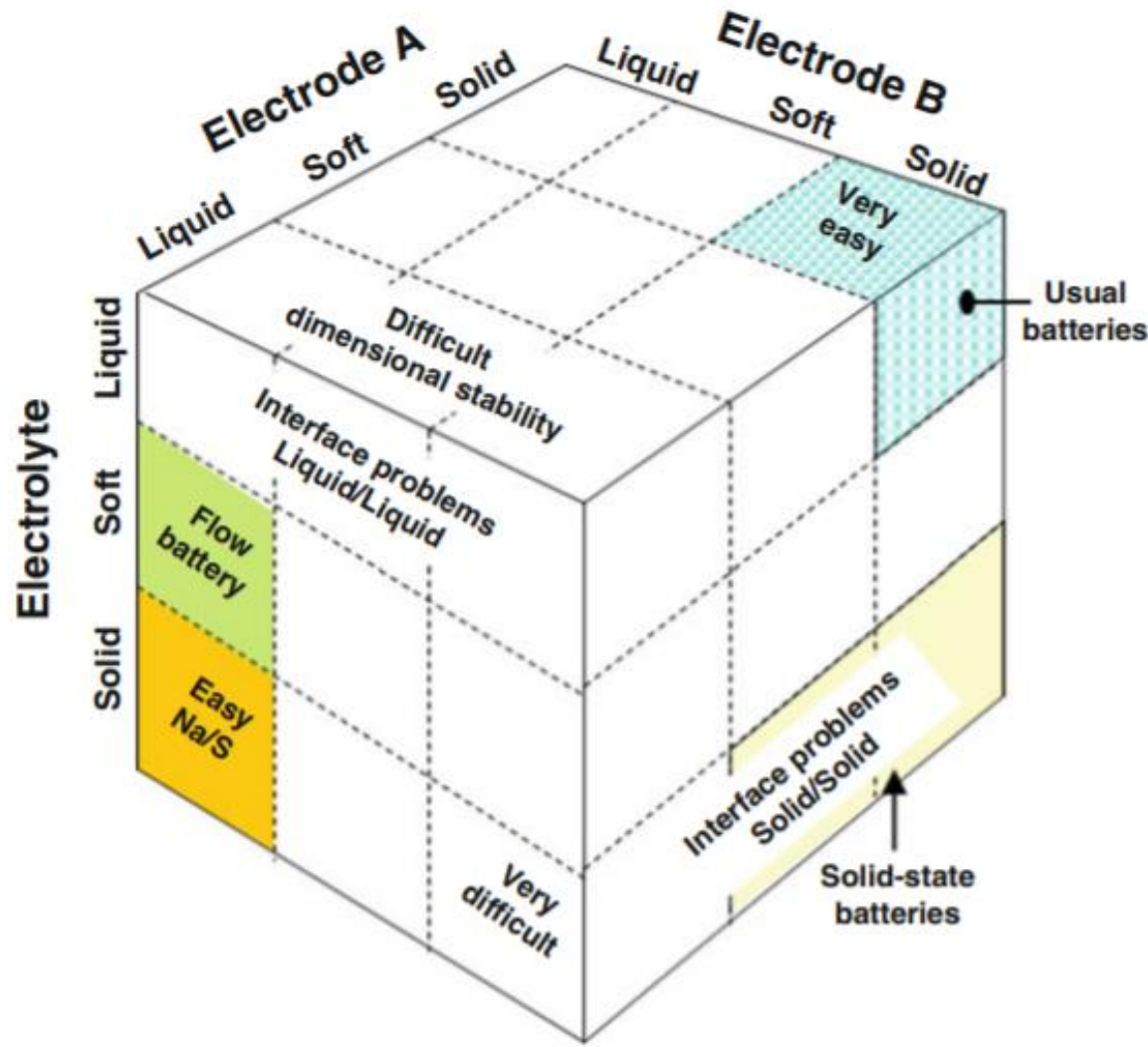
Fonte: T. B. Reddy. "Linden's Handbook of Batteries," MC Graw Hill, 2011.

Densidade específica de energia de algumas tecnologias



Fonte: T. B. Reddy. "Linden's Handbook of Batteries," MC Graw Hill, 2011.

Complexidade de realização

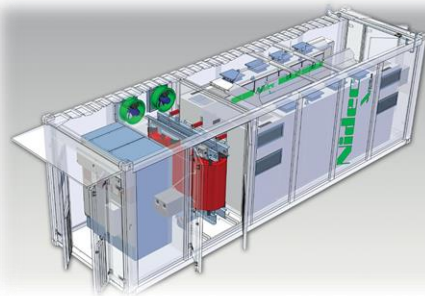


Fonte: C. Julien et.al. "Lithium Batteries: Science and Technology," Springer, 2016.



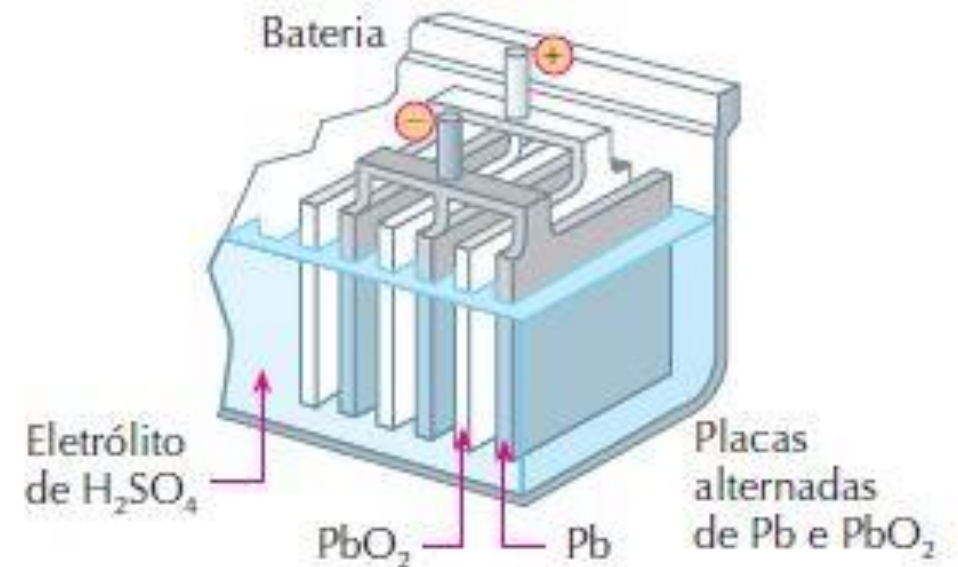
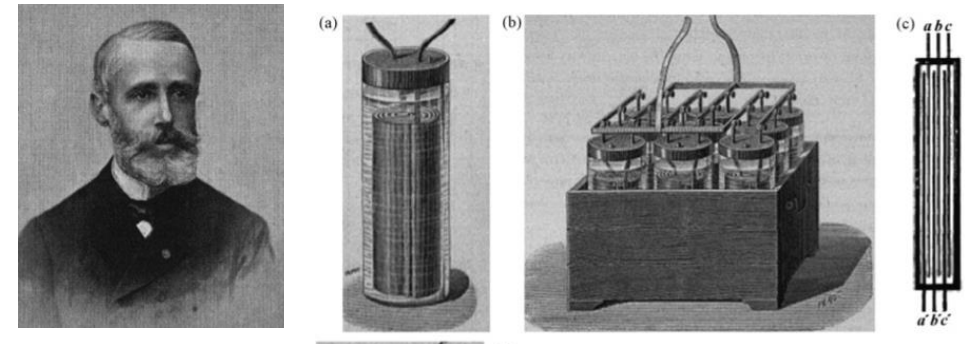
Aspectos técnicos de algumas químicas de baterias

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



Baterias de Chumbo Ácido

- ❑ Introduzida inicialmente em 1860 por G. Platé;
- ❑ Disponível comercialmente em 1880;
- ❑ Baterias secundárias mais empregadas comercialmente;
- ❑ Cátodo: Dióxido de chumbo (PbO_2);
- ❑ Ânodo: Chumbo esponjoso;
- ❑ Eletrólito: Ácido Sulfúrico (H_2SO_4);
- ❑ Materiais extremamente tóxicos → reciclagem!
- ❑ Tensão em torno de 2 Volts.



Baterias de Chumbo Ácido

- ❑ Eficiência entre 70 e 85 %;
- ❑ Baixa auto descarga (3% a 20% ao mês);
- ❑ Custo (100-200 \$/kWh).
- ❑ Vida útil: 5 a 15 anos e 500-1200 ciclos;
- ❑ Baixa densidade de energia;
- ❑ Baixo desempenho em baixas temperaturas.



Fonte: Energy Systems Network.
“Energy Storage Roadmap Report,” 2017.



Exemplo de sistemas comerciais – baterias de chumbo ácido avançadas



Fonte: XtremePower. 2009.

Wind farm capacity	15.44 MW
Wind turbine	Eight E-82 1.93-MW turbines
Battery	Lead-acid batteries: 3,456 LL1500-W batteries (10.4 MWh) (Six sets consisting of two blocks of 288 series-connected cells in parallel) Maximum input/output: 4.5 MVA (capacity of AC/DC conversion unit) Discharge power: 3,700 kW (approx.) Charge power: 2,600 kW (approx.) Inverters: 6 × 750 kVA



Shiura Wind Farm (Japan)



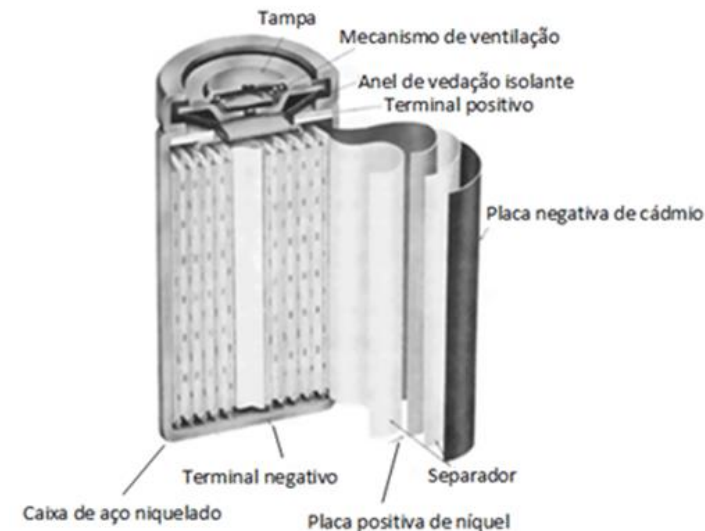
Battery installation

AC: alternating current DC: direct current

Fonte: Hitachi. "Industrial Storage Device for Low-carbon Society's," 2010.

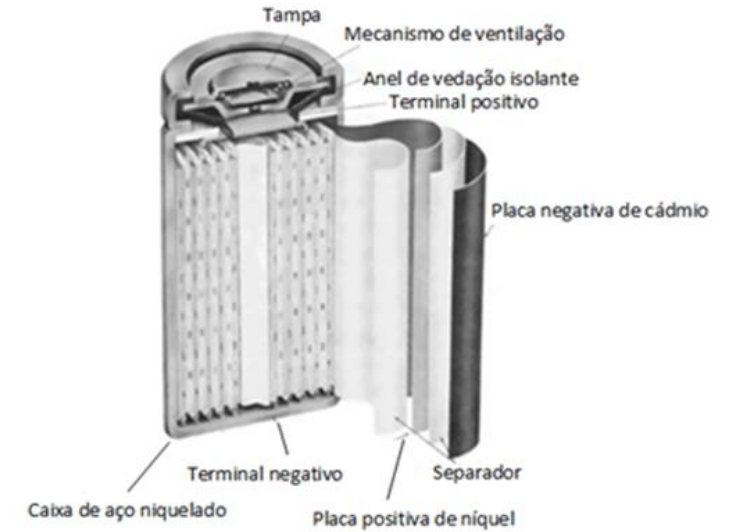
Baterias de Níquel

- ❑ Introduzida no mercado em 1915
 - Níquel-Cádmio NiCd ;
 - Níquel-Hidreto Metálico NiMH;
 - Níquel-Ferro NiFe;
 - Níquel-Hidrogênio NiH₂;
 - Níquel-Zinco NiZn.
-
- ❑ NiCd foi a bateria recarregável mais usada nos anos 90;
 - ❑ Cátodo: Ni(OH)₂;
 - ❑ Ânodo: Cádmio metálico;
 - ❑ Eletrólito: Hidróxido de potássio (KOH);
 - ❑ Tensão em torno de 1,2 Volts



Baterias de Níquel Cádmio

- ❑ Eficiência entre 70 e 90 %;
- ❑ Baixa auto descarga (10% ao mês);
- ❑ Custo (300-600 \$/kWh);
- ❑ Vida útil: 10-20 anos e 2500-3500 ciclos (80% DoD);
- ❑ 40 a 60 Wh/kg e 150 W/kg;
- ❑ -20°C a 40 °C;
- ❑ Efeito memória.



Exemplo de sistemas comercial – baterias de níquel Cádmio



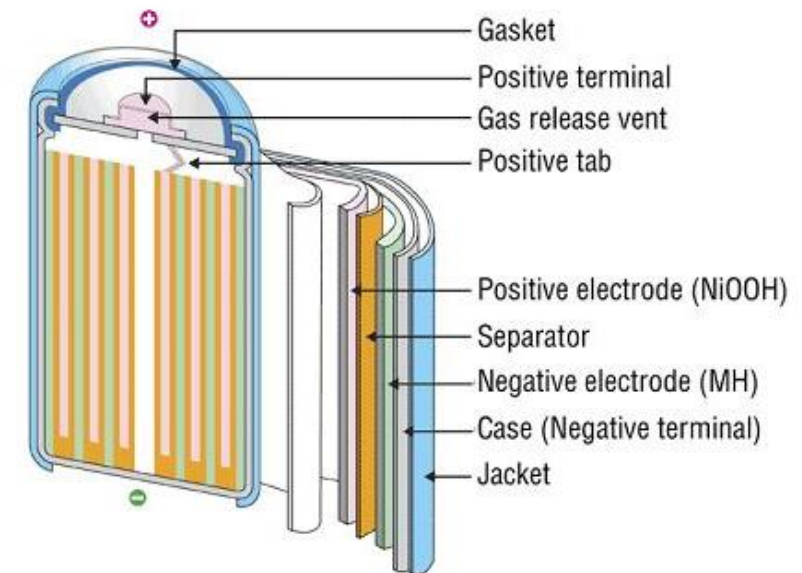
Fonte: GVEA, 2003.

Statistics

- 13,760 liquid electrolyte-filled NiCad cells
- Each battery is roughly the size of a large PC and weighs 165 pounds
- Total BESS weight – 1,500 tons
- Batteries have an anticipated life of 20-30 years

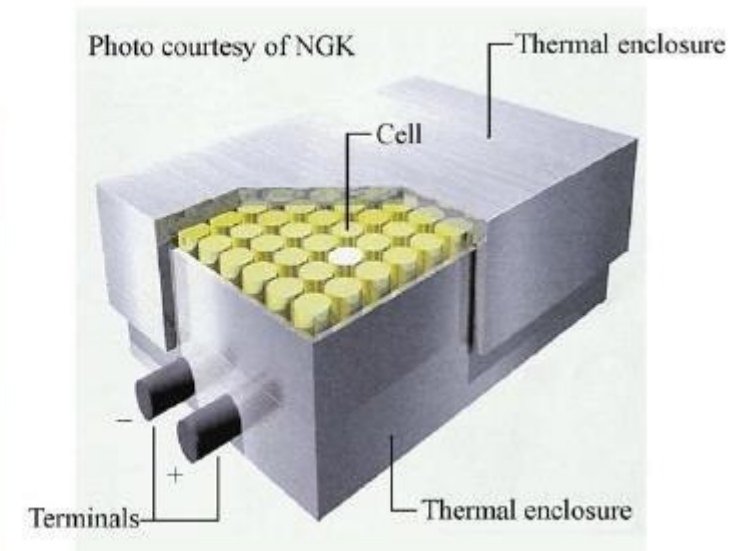
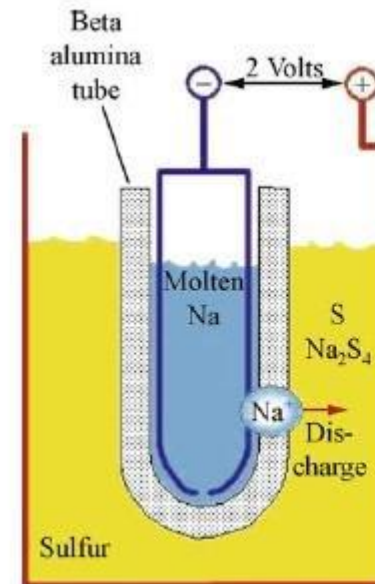
Baterias de Níquel e Hidreto metálico (NiMH)

- ❑ Introduzida nos anos 90;
- ❑ Dobro da capacidade da NiCd e densidade de energia similar as baterias de lítio;
- ❑ Efeito memória muito baixo;
- ❑ Tensão de 1,2 Volts;
- ❑ 250-1000 W/kg e 60-120 Wh/kg;
- ❑ Eficiência: 70-90%;
- ❑ Custos: 200-500 \$/kWh;
- ❑ Desvantagem: auto descarga de 5 a 30 % por mês e menos robusta.



Baterias de Sódio-Enxofre

- ❑ Desenvolvida em 1987 no Japão;
- ❑ Introduzida no mercado no início dos anos 90;
- ❑ Ânodo: Enxofre líquido;
- ❑ Cátodo: Sódio líquido;
- ❑ Eletrólito: Alumina (sólido);
- ❑ Tensão de aproximadamente 1,7 Volts;



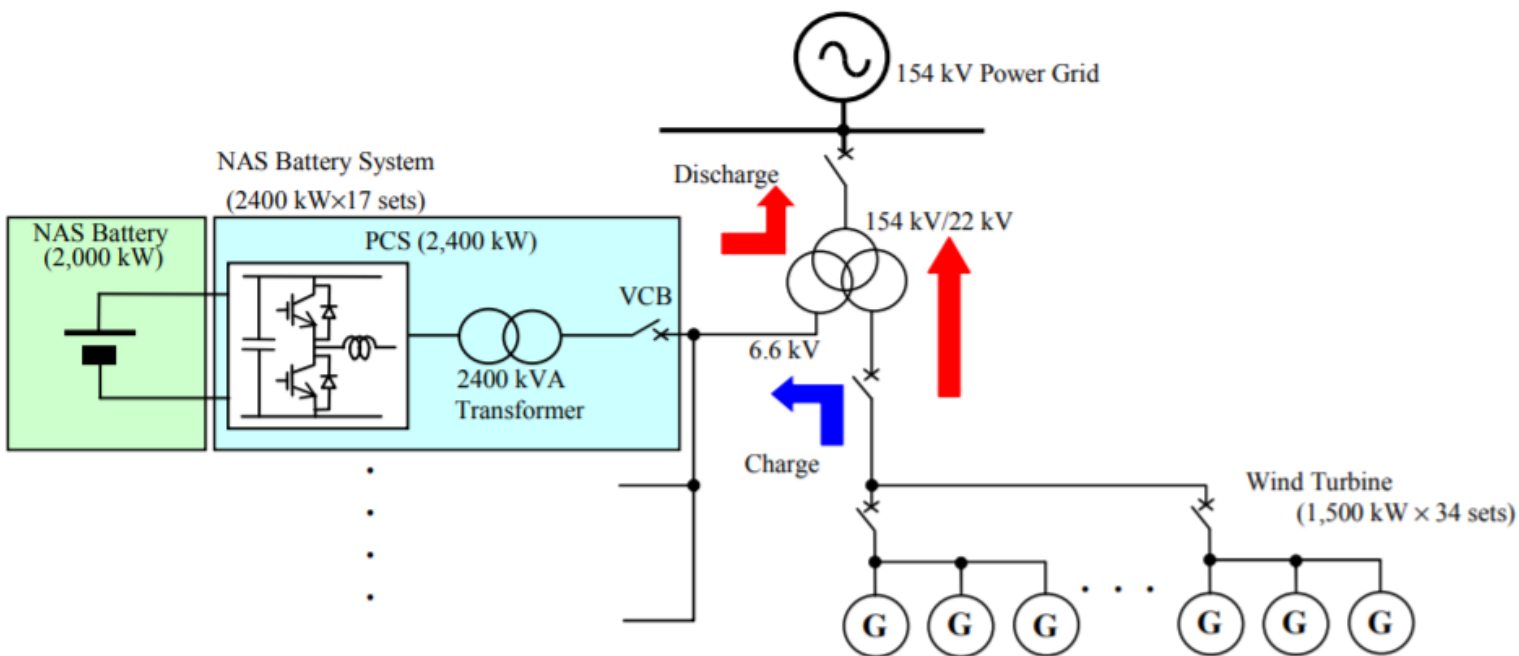
Fonte: D. Akinyele, J. Belikov e Y. Levron. "Battery Storage Technologies for Electrical Applications: Impact in Stand-Alone Photovoltaic Systems," Energies, 2017.

Baterias de Sódio-Enxofre

- ❑ Eficiência entre 75 e 90 %;
- ❑ Custo (250-500 \$/kWh).
- ❑ Vida útil: 15 anos e 2500-4500 ciclos;
- ❑ Alta densidade específica de energia (150 a 240 Wh/kg);
- ❑ Extremamente robusta (Até 6 vezes a potência nominal em transientes)
- ❑ Problema: Opera a 300-350 °C → aumenta auto descarga!



Exemplo de sistemas comerciais – baterias de sódio-enxofre



Fonte: Yukihsa Iijima, Yoshinori Sakanaka, Noriko Kawakami. "Development and Field Experiences of NAS Battery Inverter for Power Stabilization of a 51 MW Wind Farm," IPEC, 2010.

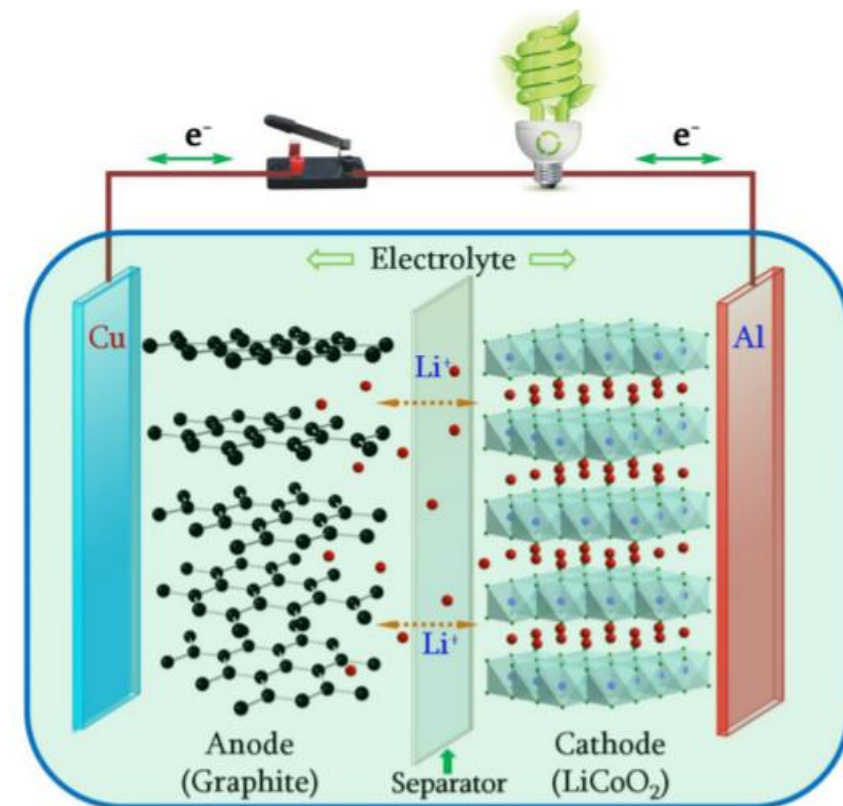
Baterias de Sódio-Lítio-Cloro NaLiCl

- ❑ Disponível comercialmente desde 1995;
- ❑ Cloro reduz a temperatura de operação para 270 °C;
- ❑ Tensão em torno de 2,58 V;
- ❑ 150-170 W/kg e 95-120 Wh/kg;
- ❑ Alguns poucos projetos piloto;
- ❑ Poucas empresas desenvolvendo esta tecnologia.



Baterias de Lítio-íon

- ❑ Disponível comercialmente no início da década de 90;
- ❑ Ânodo: Grafite;
- ❑ Cátodo: óxido de lítio e outro metal (e.g. LiCoO_2 , LiNiO_2);
- ❑ Eletrólito baseia-se em sais de lítio dissolvidos em líquidos orgânicos (LiCoO_4 , LiPF_6);
- ❑ Tensão na faixa de 3,7 Volts;
- ❑ Família de químicas!



Fonte: C. Liu, Z. G. Neale and G. Cao. "Understanding electrochemical potentials of cathode materials in rechargeable batteries," *Materials Today*, 2015.

Baterias de Lítio-íon

- ❑ Eficiência entre 90 e 97 %;
- ❑ Baixa auto descarga (2% a 5% ao mês);
- ❑ 75-265 Wh/kg e 250-600 Wh/kg;
- ❑ Não apresenta o efeito memória;
- ❑ Custo (300-700 \$/kWh);
- ❑ Vida útil: 5 a 20 anos e 5000 ciclos;
- ❑ Sensíveis em relação a temperatura → segurança.



Exemplo de sistemas comerciais – baterias de Lítio íon



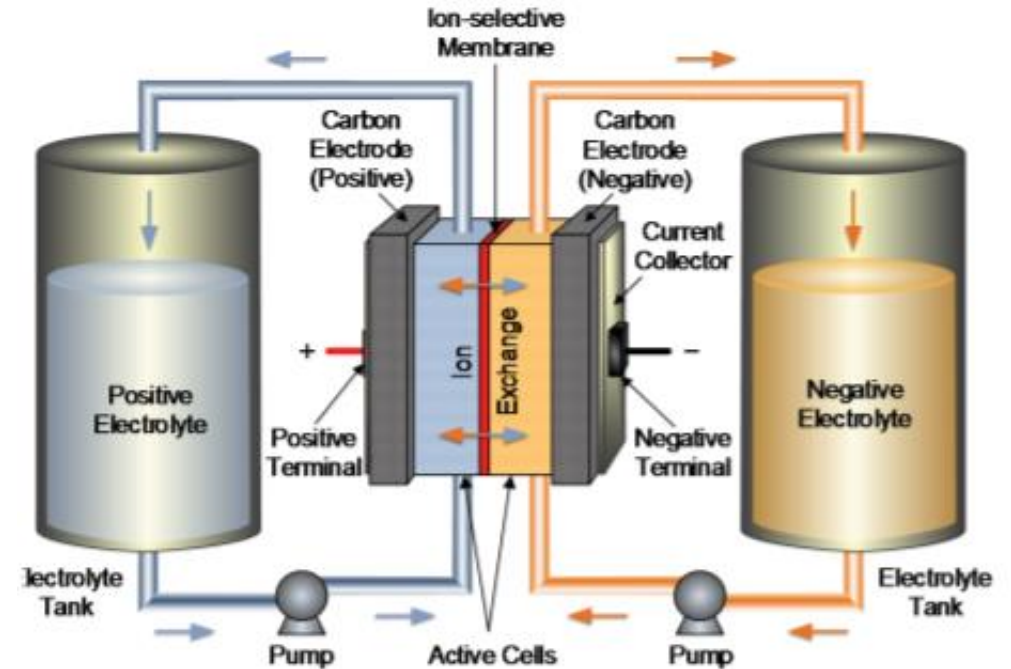
Fonte: Tesla.



Fonte: Fluence.

Baterias de Fluxo

- ❑ Disponível comercialmente nos anos 80;
- ❑ Tecnologias:
 - ZnBr → 1.7 V;
 - VRFB (Vanadium redox flow battery) → 1.4 V;
 - PSB (Polysulfide Bromide) → 1.7 V.
- ❑ Alta potência e alta capacidade ao mesmo tempo;
- ❑ Eletrólito em movimento por meio de bombeamento.



Fonte: Molina, M. G. Energy storage and power electronics technologies: A strong combination to empower the transformation to the smart grid. Proceedings of the IEEE, 2017

Trade-off em baterias secundárias e baterias de fluxo

❑ Baterias convencionais:

- Densidade de potência e densidade de energia estão acopladas;
- Eletrodos finos → alta potência;
- Eletrodos espessos → alta capacidade.

❑ Baterias de fluxo

- Densidade de potência e densidade de energia desacopladas;
- Capacidade → tamanho dos tanques e quantidade/concentração de eletrólito;
- Potência → depende das taxas das reações no cátodo e ânodo.



Baterias de Fluxo

❑ VRB

- Eficiência de 65 a 80 %;
- Vida útil: 10 anos e >12000 ciclos.

❑ PSB

- Eficiência de 60-75 %;
- Vida útil: 10-15 anos e 2000 ciclos;
- Capacidade de sobre carga e descargas profundas.

❑ ZSB

- ❑ Eficiência de 65 a 70 %;
- Vida útil: 5-10 anos e 2000 ciclos;
- Deve ser completamente descarregada a cada 5-10 ciclos;
- Deve operar com fluxo contínuo do eletrólito.

Exemplo de sistemas comerciais – baterias de fluxo



Fonte: Sumitomo Electric.



Fonte: Invinity Energy Systems.

New zinc-air battery is 'cheaper, safer and far longer-lasting than lithium-ion'

Canadian start-up Zinc8's hybrid flow battery can make wind or solar farms baseload and could transform the utility-scale energy-storage market, writes Leigh Collins

21 May 2020 9:03 GMT *UPDATED 3 June 2020 11:36 GMT*

By Leigh Collins 

New Battery Technology Enables Charging Electric Cars Up to 90% in Just 6 Minutes

TOPICS: Battery Technology Energy Lithium-Ion Molecular Physics Nanotechnology

Pohang University Of Science & Technology

By POHANG UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY (POSTECH) OCTOBER 28, 2020

Comparação – Chumbo ácido e Li-íon

Less Space / Weight



Lead-acid



Lithium-ion

[Equal Capacity]

- Less Space for Battery Room
- No Structure Reinforcement Required

Longer Life



Lead-acid



Lithium-ion

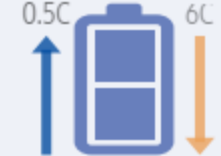
- Battery Replacement Deferral
- Enhanced Reliability

Fast Charge / Discharge Rate

▲ Charge ▼ Discharge



Lead-acid



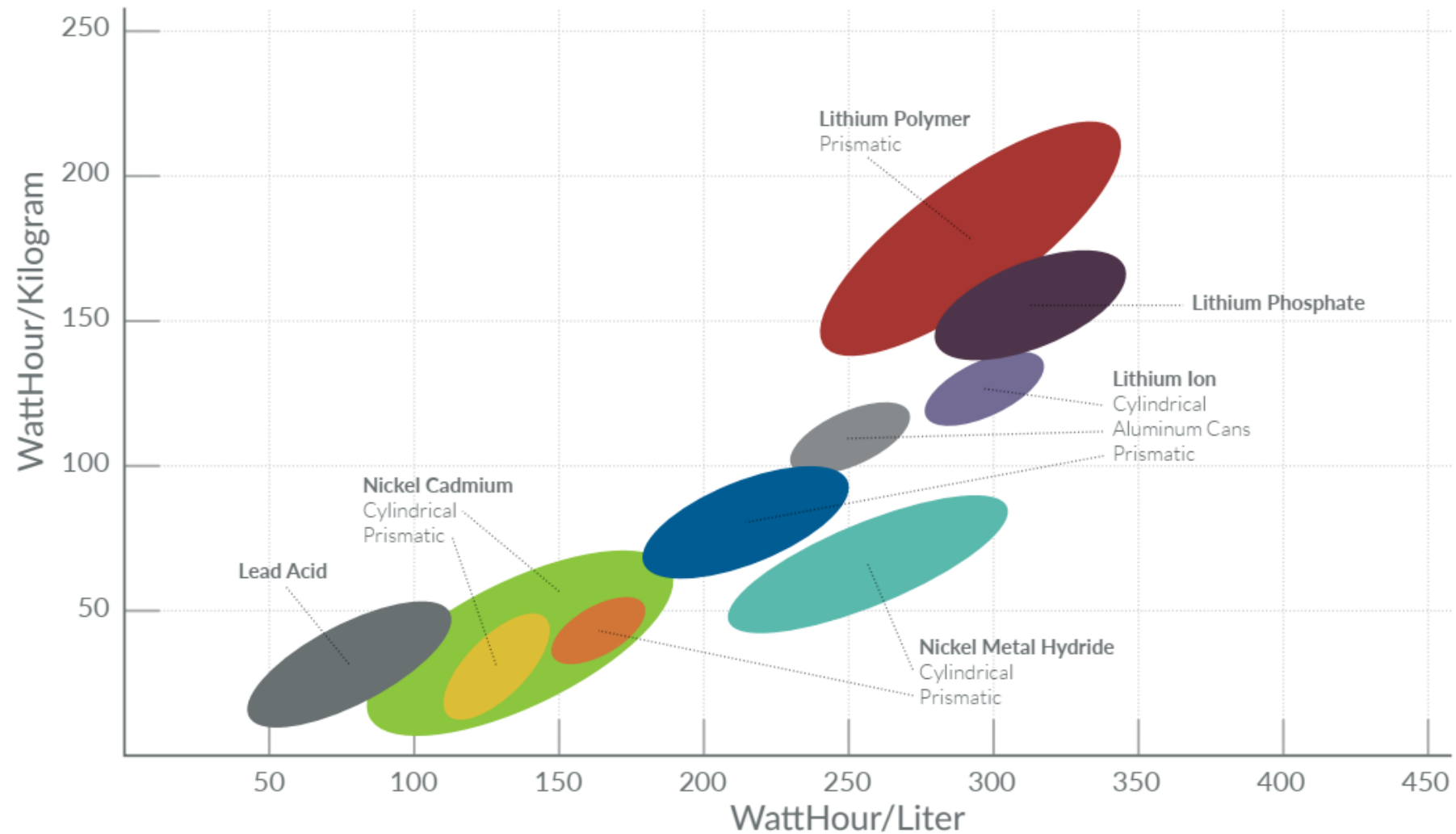
Lithium-ion

[Back-up 10min]

- No Oversizing Required
- Shorter Charging Time

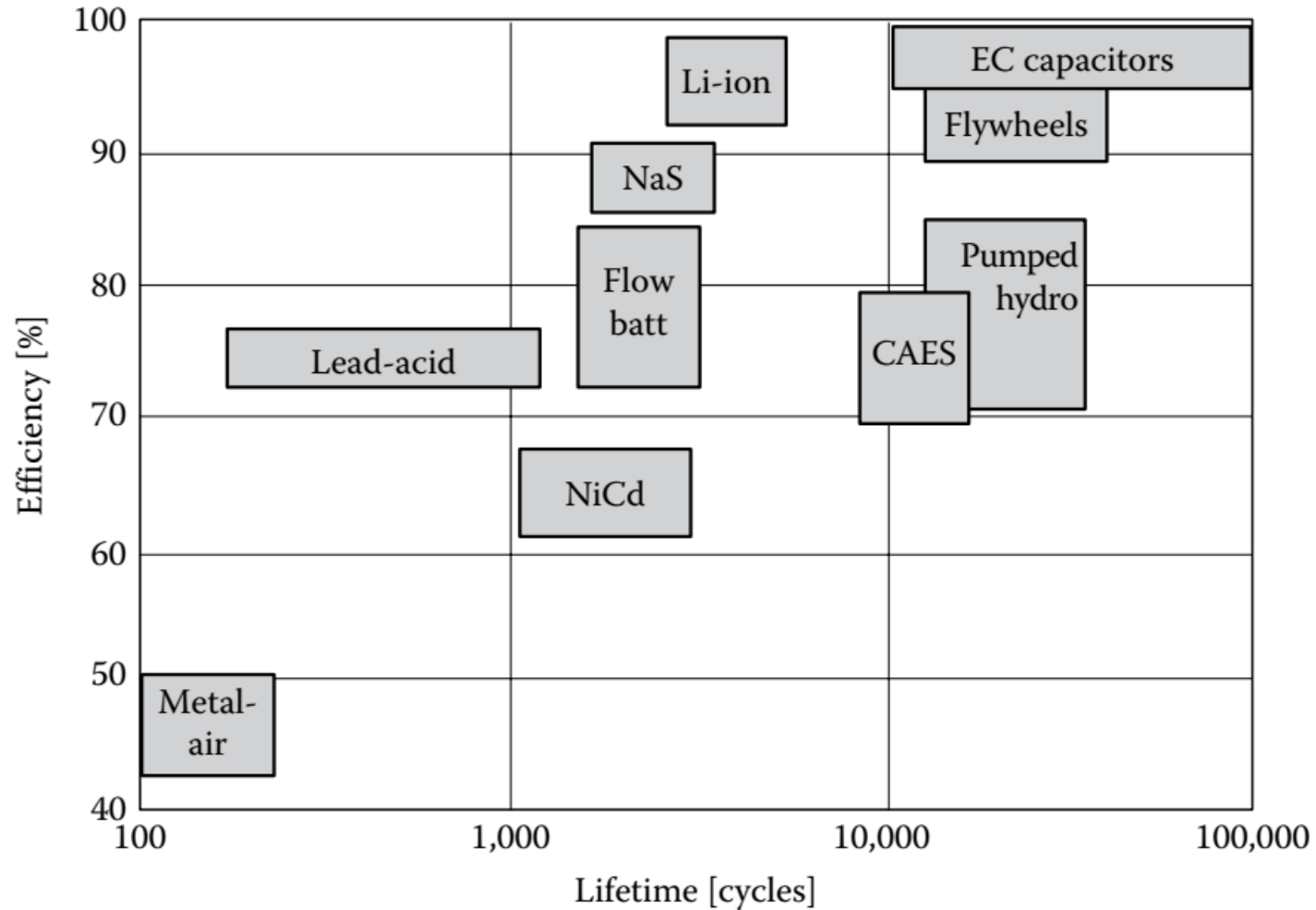
Fonte: Samsung SDI. 2013.

Comparação – Tecnologias de baterias



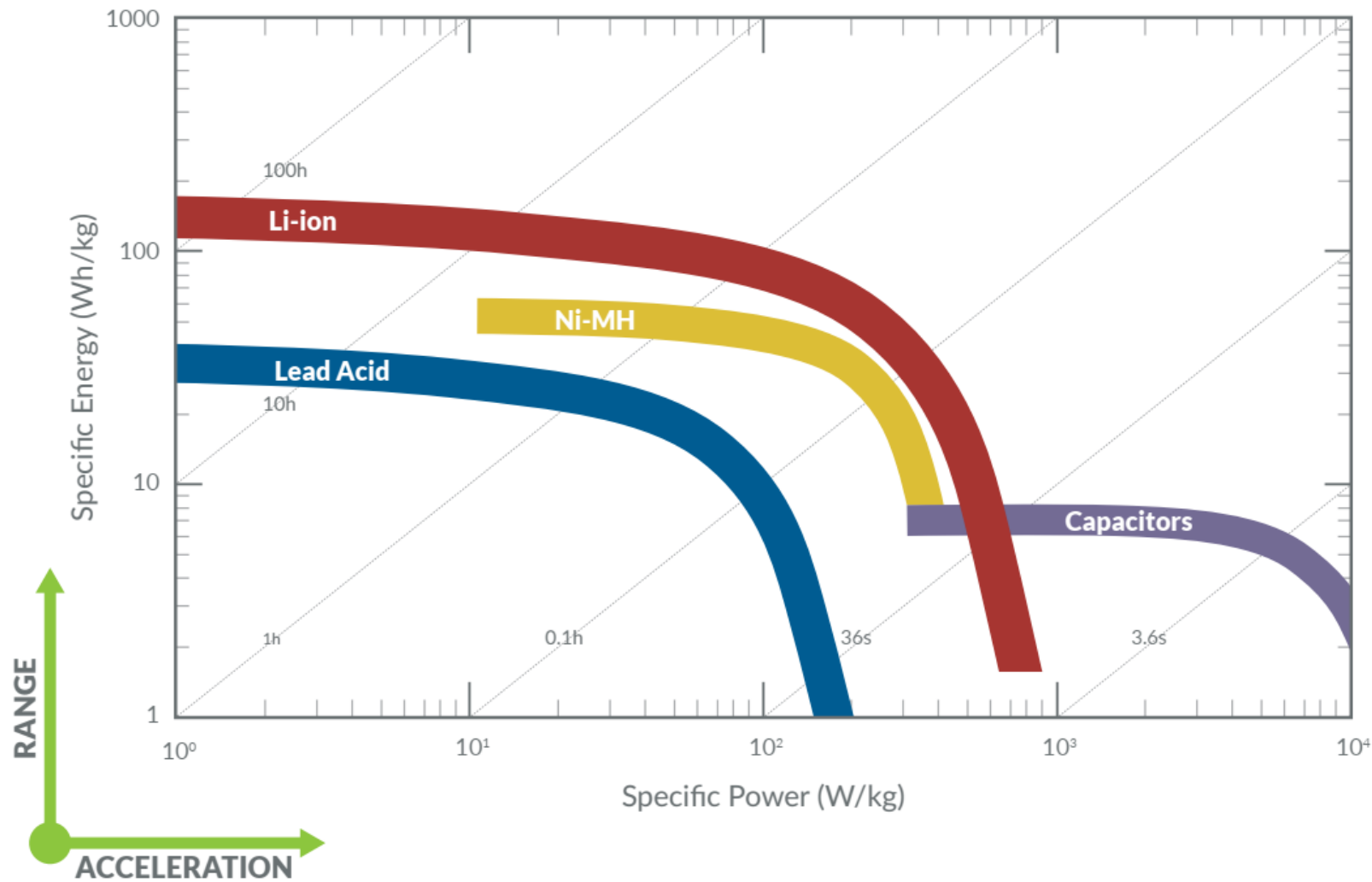
Fonte: Energy Systems Network. “Energy Storage Roadmap”. 2017.

Eficiências Típicas versus Número de ciclos



Fonte: A. Rufer. "Energy Storage: Systems and Components," CRC Taylor & Francis Group, 2018.

Diagrama de Ragone - Baterias



Fonte: Energy Systems Network. "Energy Storage Roadmap". 2017.

Tabela resumo - Tecnologias

Requirements	VRB	PSB	ZnBr	ZnAir	Supercap	SMES	Flywheel	Lead	NiCd	NaS	NaNiCl	Li-ion
<i>Response time</i>	+	+	+		++	++	++	++	++	++	+	++
<i>Discharge time</i>	++	++	++	++	-	-	+	++	++	++	++	++
<i>Cycle lifetime</i>	++	-	+	++	++	++	++	-	+	+	+	++
<i>Calendar</i>	+	+	-	+	++	++	++	+	++	++	+	++
<i>Self discharge</i>	++	++	++	++	-	-	-	++	++	+	+	++
<i>Efficiency</i>	+	-	+	-	++	++	++	+	-	++	+	++
<i>Environment</i>	++	-	+	+	++	+	++	+	-	++	++	++
<i>Maturity</i>	+	-	+	-	+	-	+	++	++	+	+	+
<i>Demonstration in MW</i>	+	-	+	-	-	+	+	+	-	++	-	++
<i>Cost/cycle</i>	+				-		+	-	-	+		+

Fonte: D. I. Stroe. "Lifetime Models for Lithium Ion Batteries used in Virtual Power Plants". PhD Thesis. Aalborg University. 2014

Obrigado pela Atenção



Bons estudos!



Dúvidas: afcupertino@ieee.org



www.gesep.ufv.br



@GESEP



@gesep_vicosa



Gesep



Pesquise por:
“GESEP UFV”



EStimate - Sistemas
Fotovoltaicos

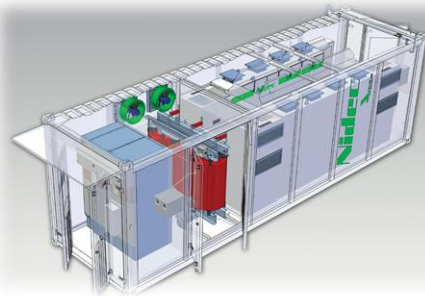


Pesquise por:
“EStimate”



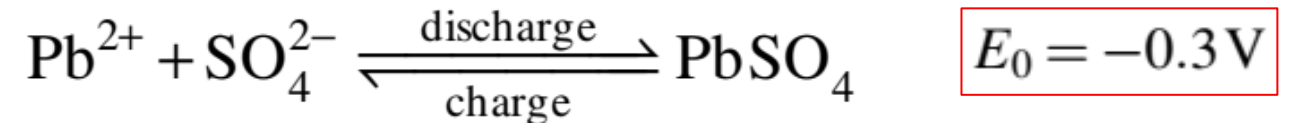
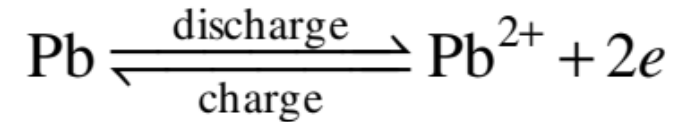
Mais sobre baterias de chumbo ácido

Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org

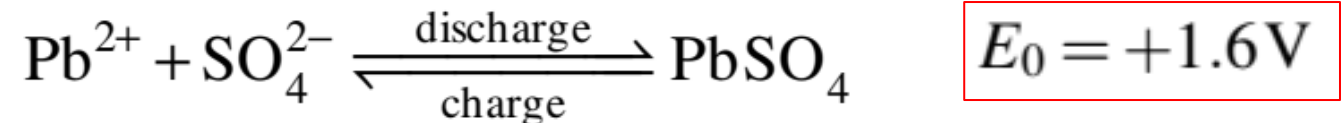
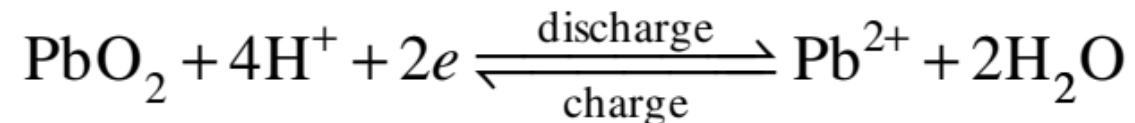


Reações básicas da bateria de chumbo ácido

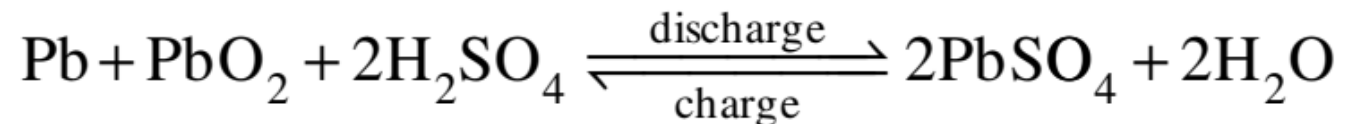
Negative electrode



Positive electrode



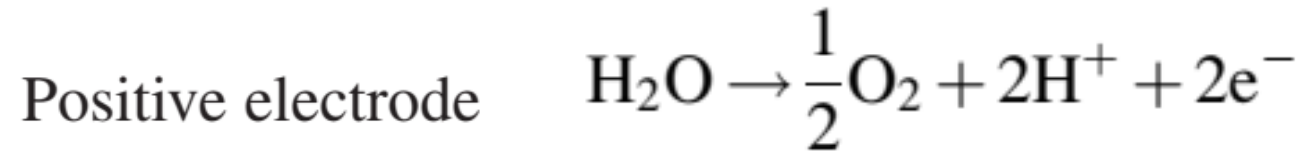
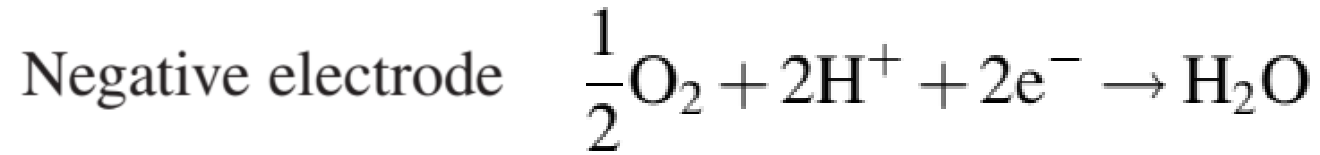
Overall reaction



□ Tensão da célula em torno de 2 Volts!

Fonte: T. B. Reddy. "Linden's Handbook of Batteries," MC Graw Hill, 2011.

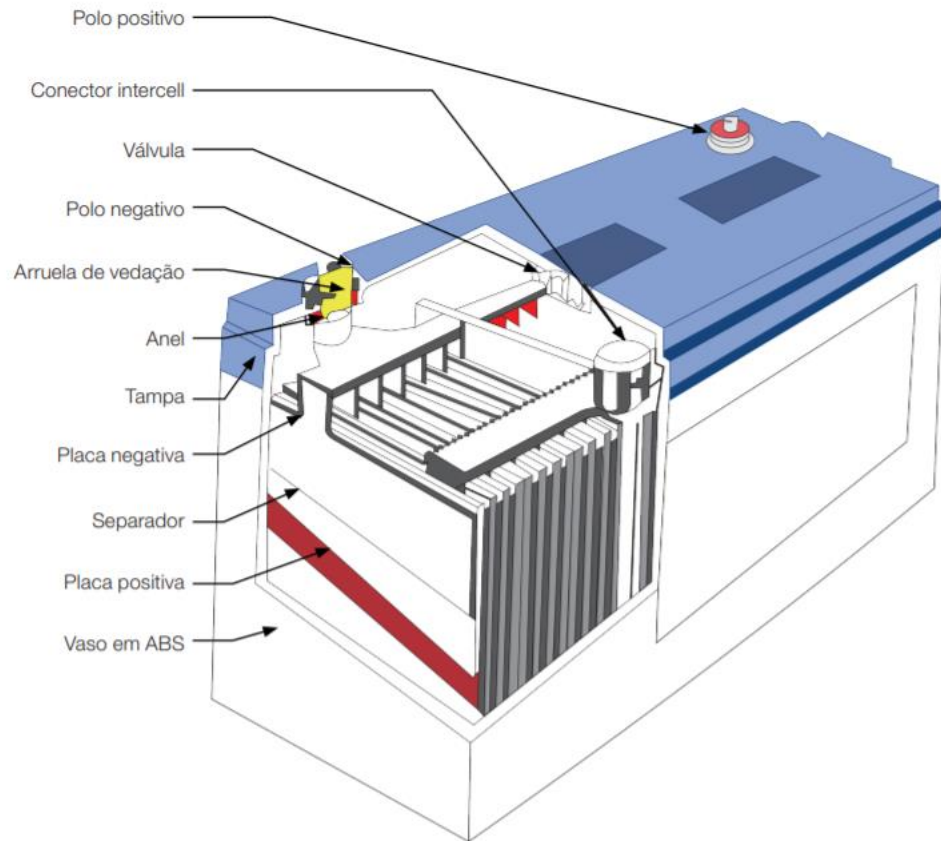
Exemplo de reação secundária - *Gassing*



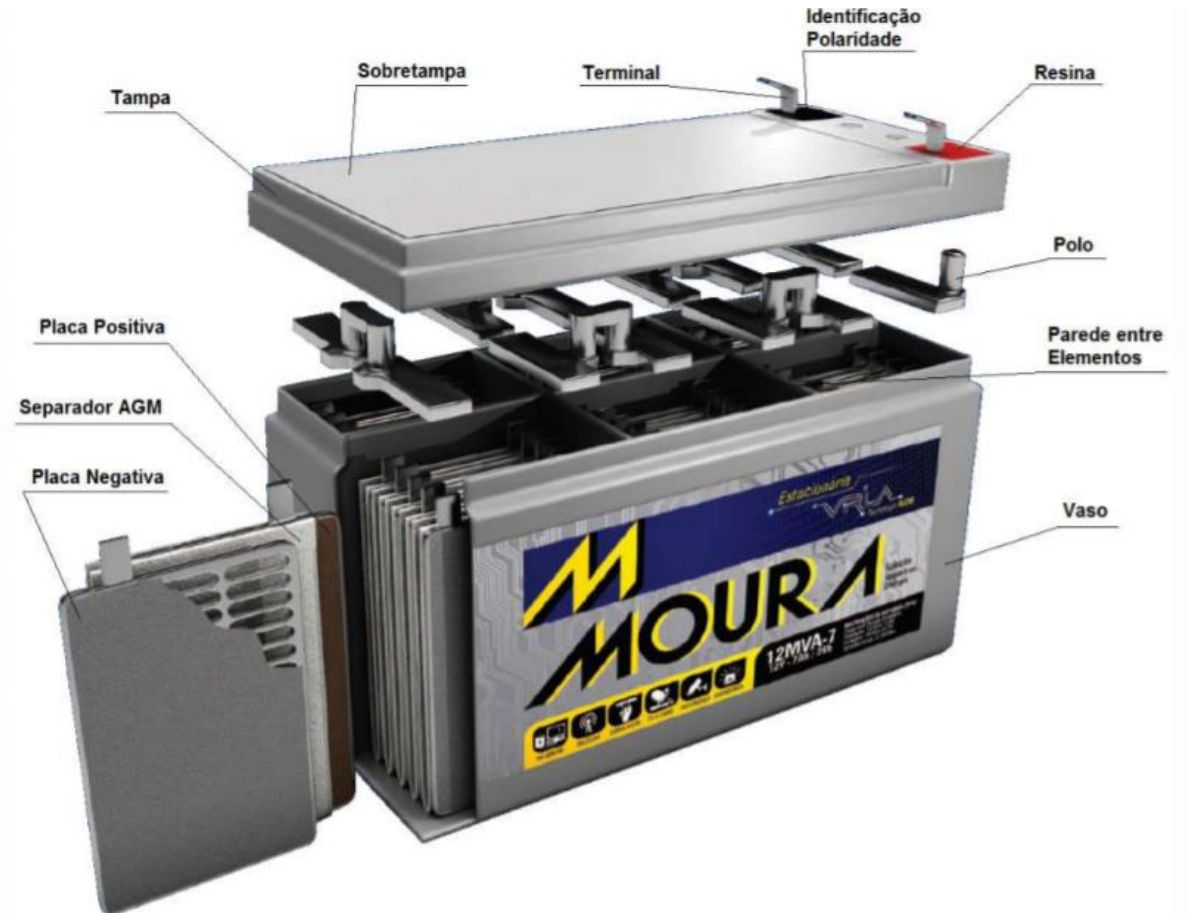
- Reações não acontecem na mesma taxa;
- Processo mais complexo durante a carga da bateria;
- Resulta em produção de gás (oxigênio) e perda de água!
- Fenômeno também associado a auto-descarga.

Fonte: T. B. Reddy. "Linden's Handbook of Batteries," MC Graw Hill, 2011.

Elementos de uma bateria de Chumbo-Ácido



Fonte: WEG

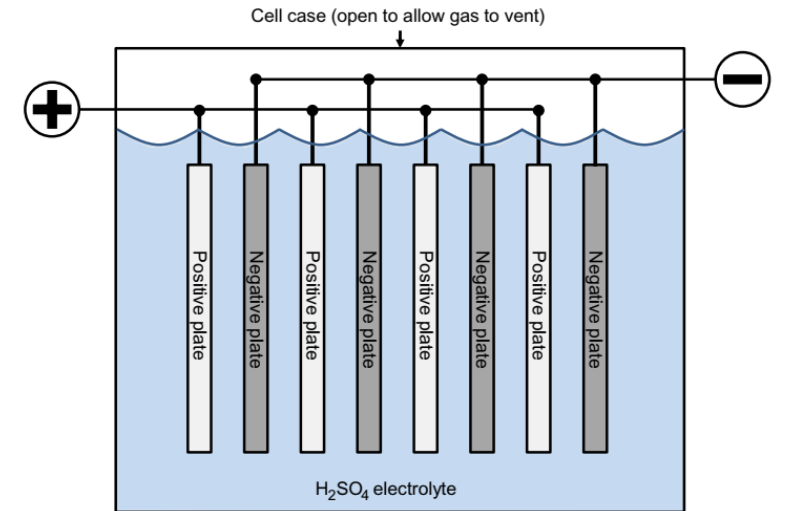


Fonte: Moura

Tecnologias de encapsulamento

❑ Baterias ventiladas

- Placas positivas e negativas imersas em eletrólito líquido;
- Deve sempre estar na vertical;
- Manutenção – completar ácido ou água;
- Utilização não uniforme do eletrodo;



Fonte: C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos and T. M. Lim. "Advances in Batteries for Medium- and Large-scale Energy Storage," Elsevier, 2015.

Tecnologias de encapsulamento

❑ Baterias seladas

- Eletrólito é imóvel;
- Dois tipos: Gel de Sílica ou manta de fibra de vidro (AGM);
- Pode operar em qualquer posição;
- Não necessita reposição de água;
- Elimina possibilidade de vazamento;
- Temperatura de operação mais restrita que as ventiladas;

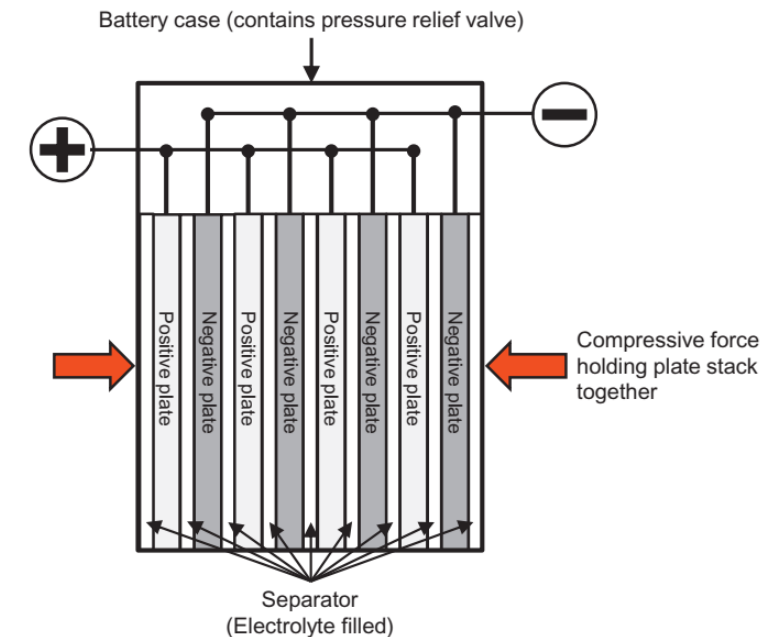


Fonte: C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos and T. M. Lim. "Advances in Batteries for Medium- and Large-scale Energy Storage," Elsevier, 2015.

Tecnologias de encapsulamento

❑ Baterias controladas por válvula (VLRA)

- Tecnologia de bateria selada avançada;
- Eletrólito não é líquido, mas apresenta a forma de um gel;
- Não há necessidade de completar a água da bateria;
- Mecanismo regulado por válvula para eliminação de gases;
- Possibilita operar em ampla faixa de temperatura;



Fonte: C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos and T. M. Lim. "Advances in Batteries for Medium- and Large-scale Energy Storage," Elsevier, 2015.

Classificação

❑ Baterias de arranque

- Bateria automotiva ou SLI;
- Alimentação do sistema elétrico do veículo e motor de arranque;
- Projetadas permanecer carregadas e entregar altas correntes;
- Podem ser ventiladas ou seladas.



❑ Baterias tracionárias

- Similares as baterias de arranque;
- Operações em condições mais severas;
- Equipamentos eletrônicos;
- Podem operar com baixos valores de carga.



Fonte: C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos and T. M. Lim. "Advances in Batteries for Medium- and Large-scale Energy Storage," Elsevier, 2015.

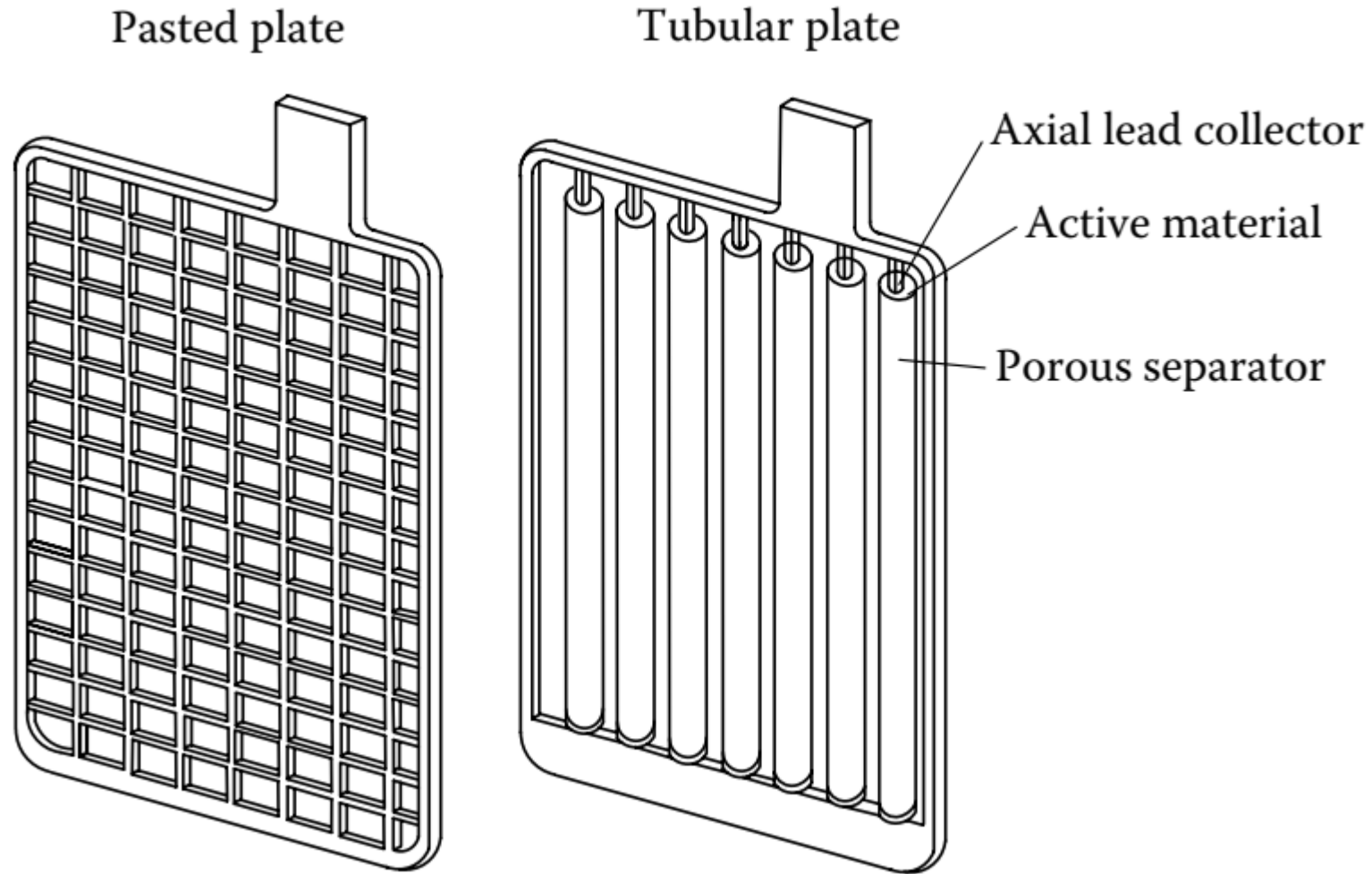
Classificação

❑ Baterias estacionárias

- Operações em condições mais severas;
- Elevado número de ciclos e descargas profundas
- Equipamentos eletrônicos;
- No-breaks, sistemas fotovoltaicos, iluminação de emergência, etc.



Comparação dos eletrodos positivos

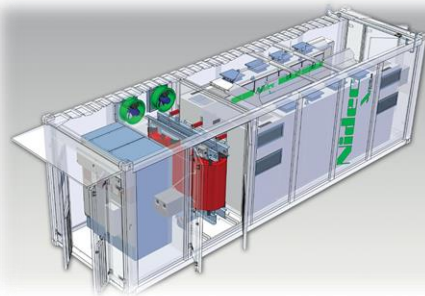


Fonte: C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos and T. M. Lim. "Advances in Batteries for Medium- and Large-scale Energy Storage," Elsevier, 2015.



Mais sobre baterias de Lítio-íon

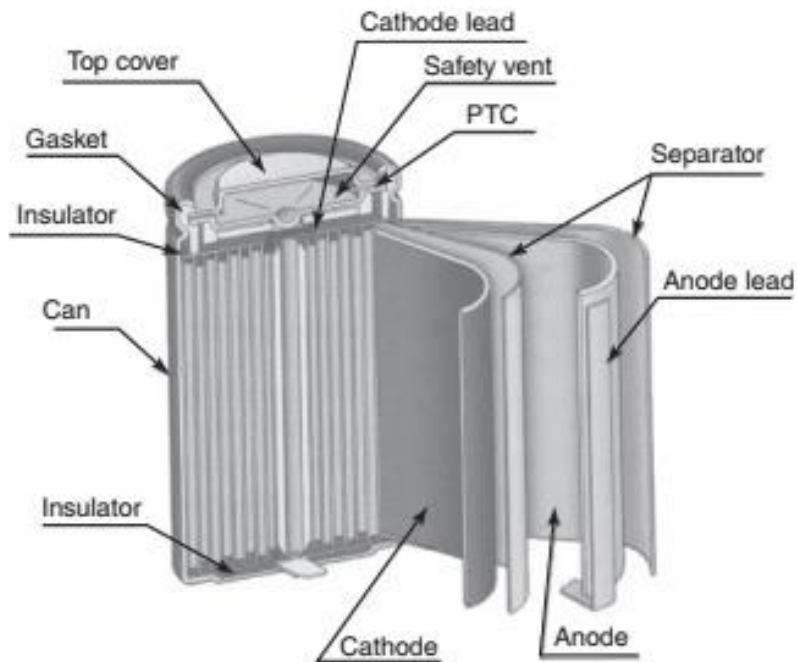
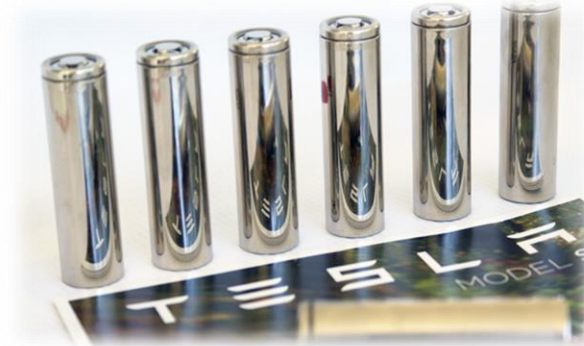
Prof. Allan Fagner Cupertino
afcupertino@ieee.org



Tipos de encapsulamento

❑ Células cilíndricas

- Elevada densidade de energia
- Baixo custo para produção em massa;
- Refrigeração ruim.

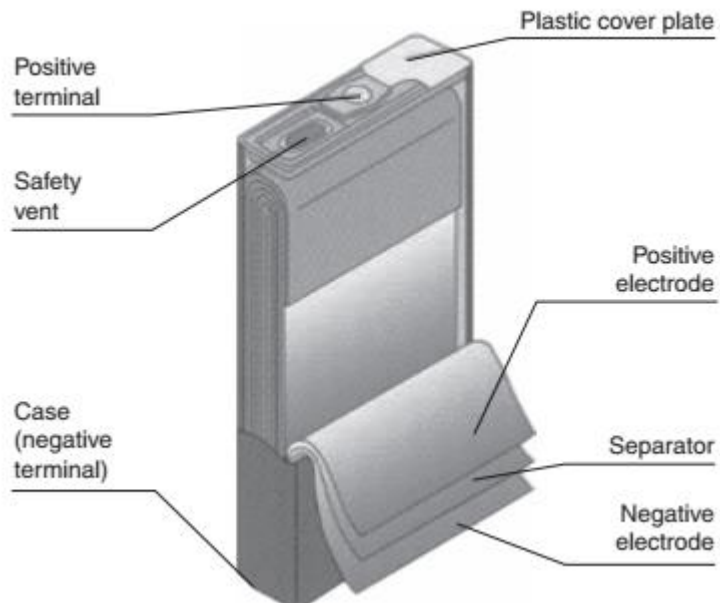


Fonte: T. B. Reddy. "Linden's Handbook of Batteries," MC Graw Hill, 2011.

Tipos de encapsulamento

❑ Células prismáticas

- Fácil conexão entre pacotes;
- Boa refrigeração;
- Encapsulamento mais caro.

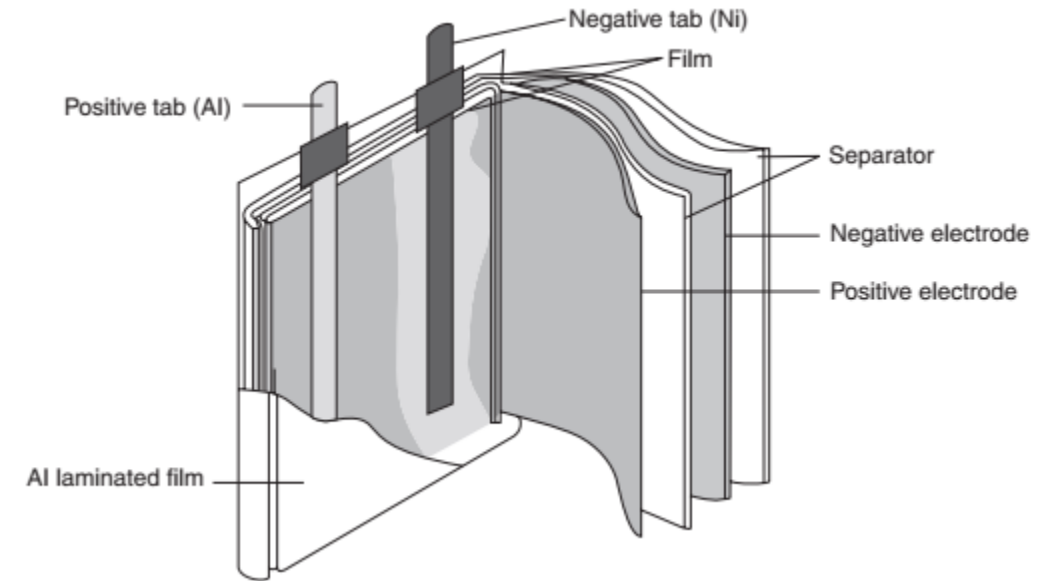
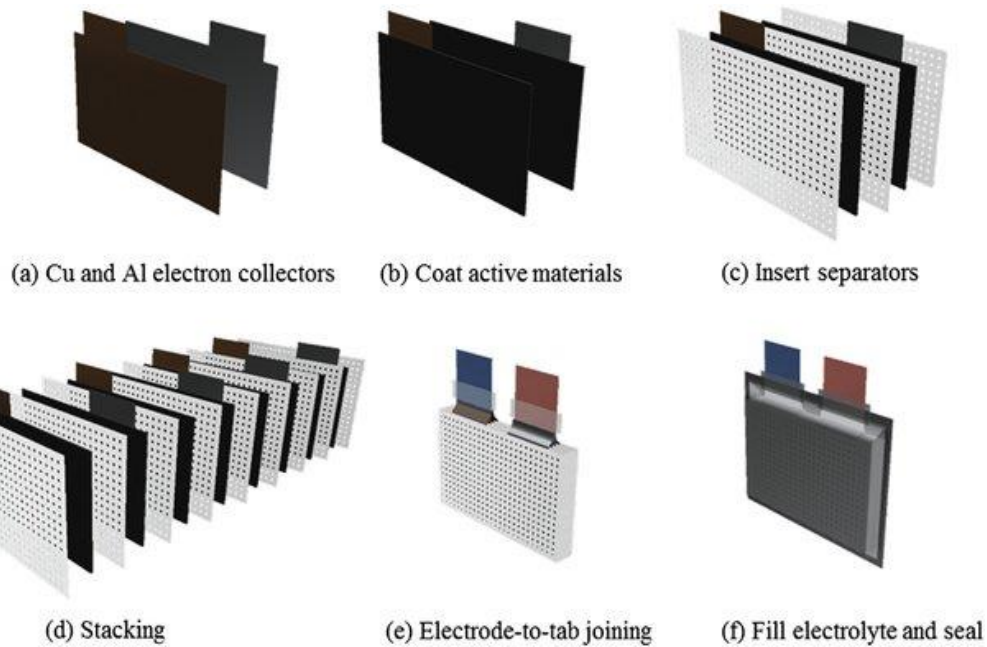


Fonte: T. B. Reddy. "Linden's Handbook of Batteries," MC Graw Hill, 2011.

Tipos de encapsulamento

❑ Células Pouch

- Excelente densidade de energia;
- Boa refrigeração;
- Módulo com design complexo.

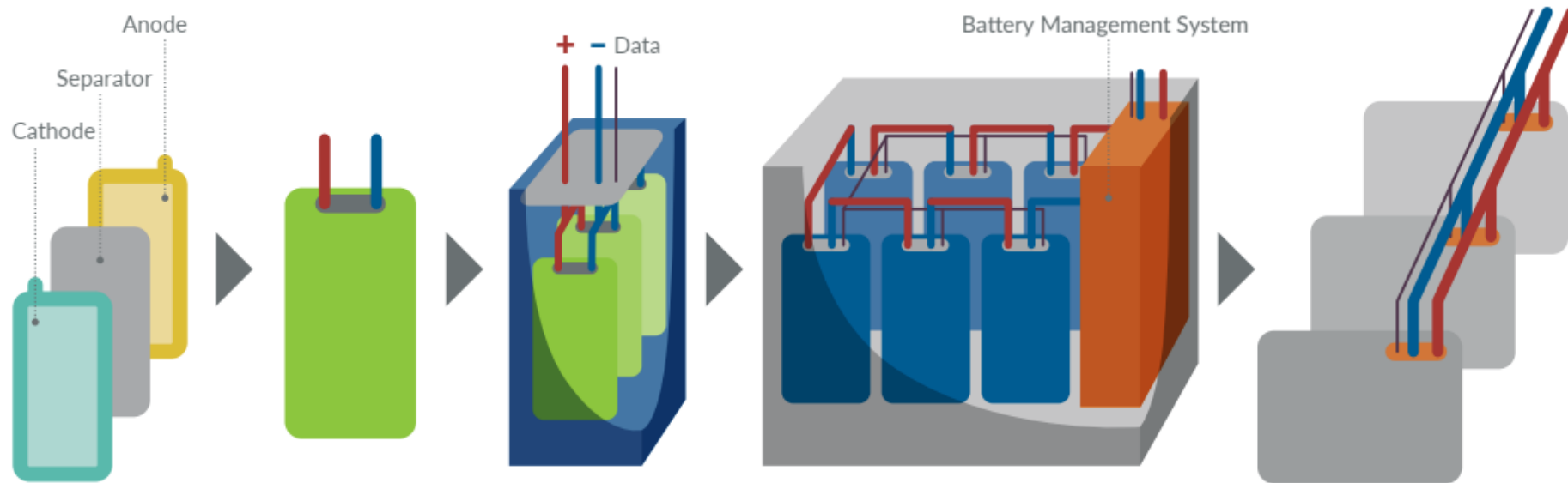


Fonte: T. B. Reddy. "Linden's Handbook of Batteries," MC Graw Hill, 2011.



Fonte: S. Mutyala et al.. "In-situ temperature measurement in lithium ion battery by transferable flexible thin film thermocouples," Journal of Power Sources, 2014.

Sistemas de balanço – Baterias de lítio



Mono-Cell

- Basic cell chemistry
- Basic cell voltage
- Voltage: 2VDC to 4 VDC
- Capacity: 2-3 Amp-hours (Ah)

Cell

- Stack of mono-cells
- Connected in parallel
- Voltage: 2VDC to 4 VDC
- Capacity: 10 Ah to 40 Ah

Module

- Stack of cells
- Connected in series and/or parallel
- Voltage: 4 VDC to 60 VDC (typical)
- Capacity: 0.5 kWh to 5 kWh (typical)

Battery Pack

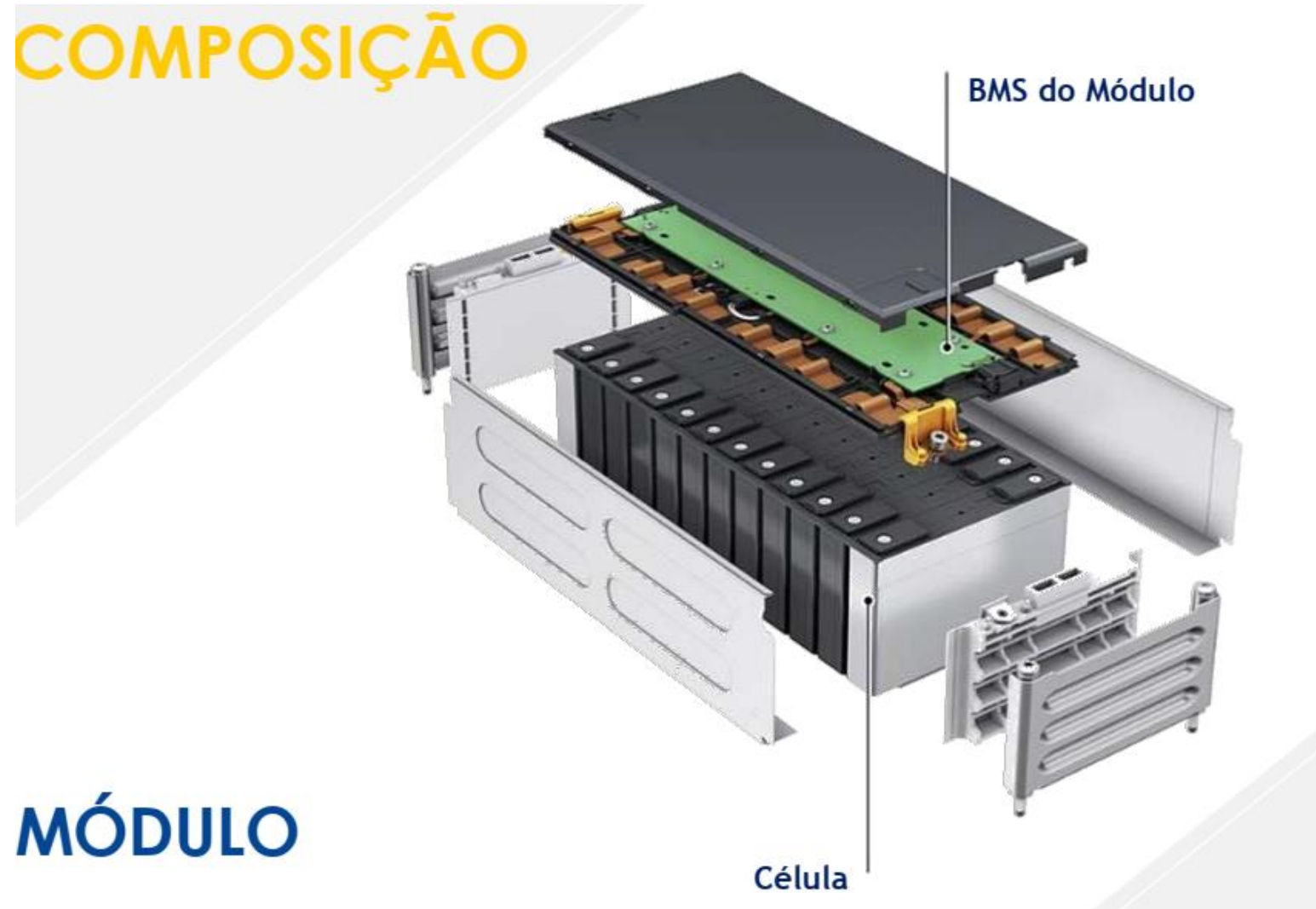
- Stack of modules
- Connected in series and/or parallel
- Voltage: 100 VDC to 700 VDC (typical)
- Capacity: 10 kWh to 500 kWh (typical)

Battery System

- Stack of battery packs
- Connected in series and/or parallel
- Voltage: 100 VDC to 700 VDC (typical)
- Capacity: 500 kWh to 50 MWh (typical)

Fonte: Energy Systems Network. “Energy Storage Roadmap”. 2017.

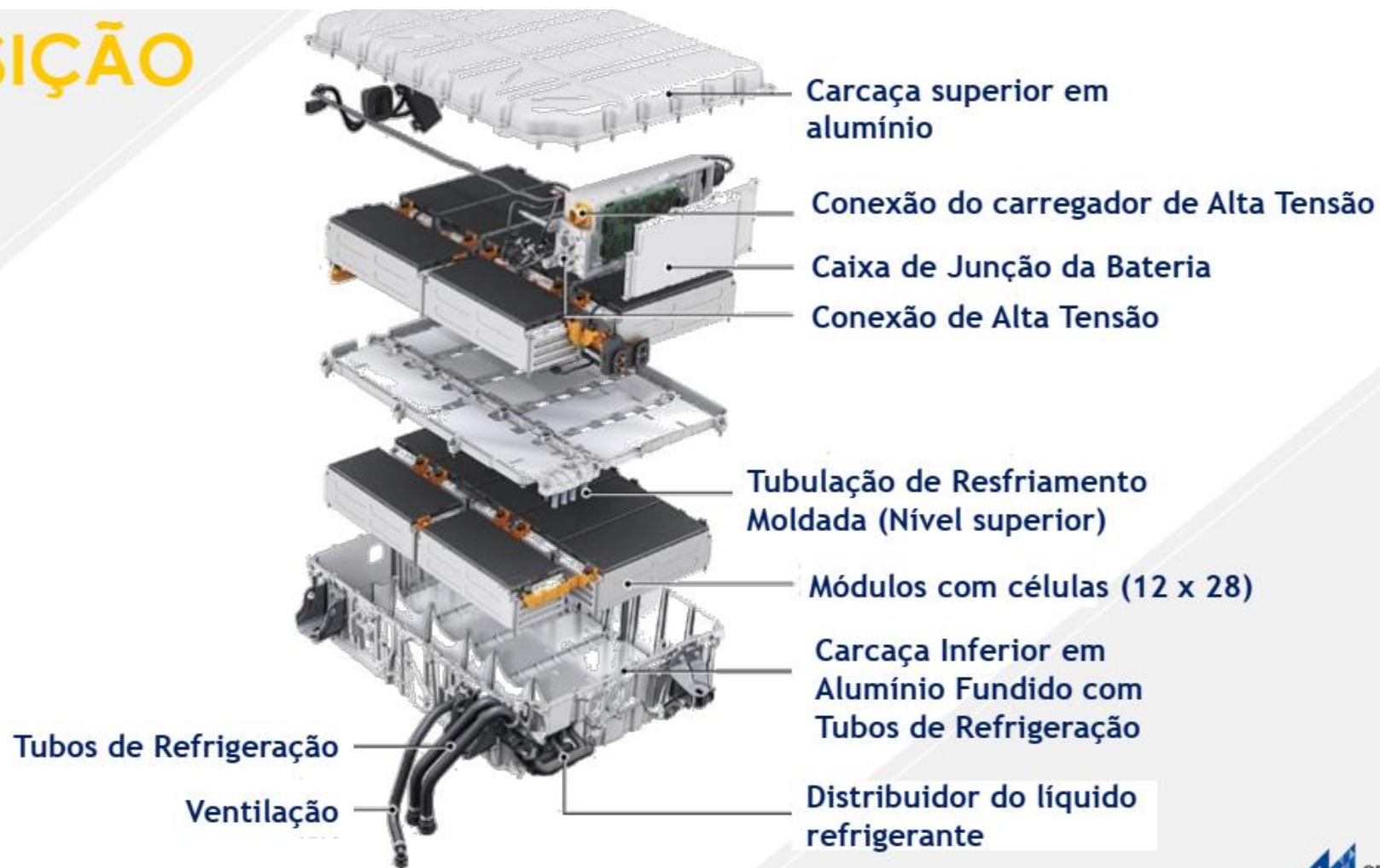
Exemplo de sistema baseado em baterias de Lítio - Módulo



Fonte: Moura

Exemplo de sistema baseado em baterias de Lítio - Pack

COMPOSIÇÃO



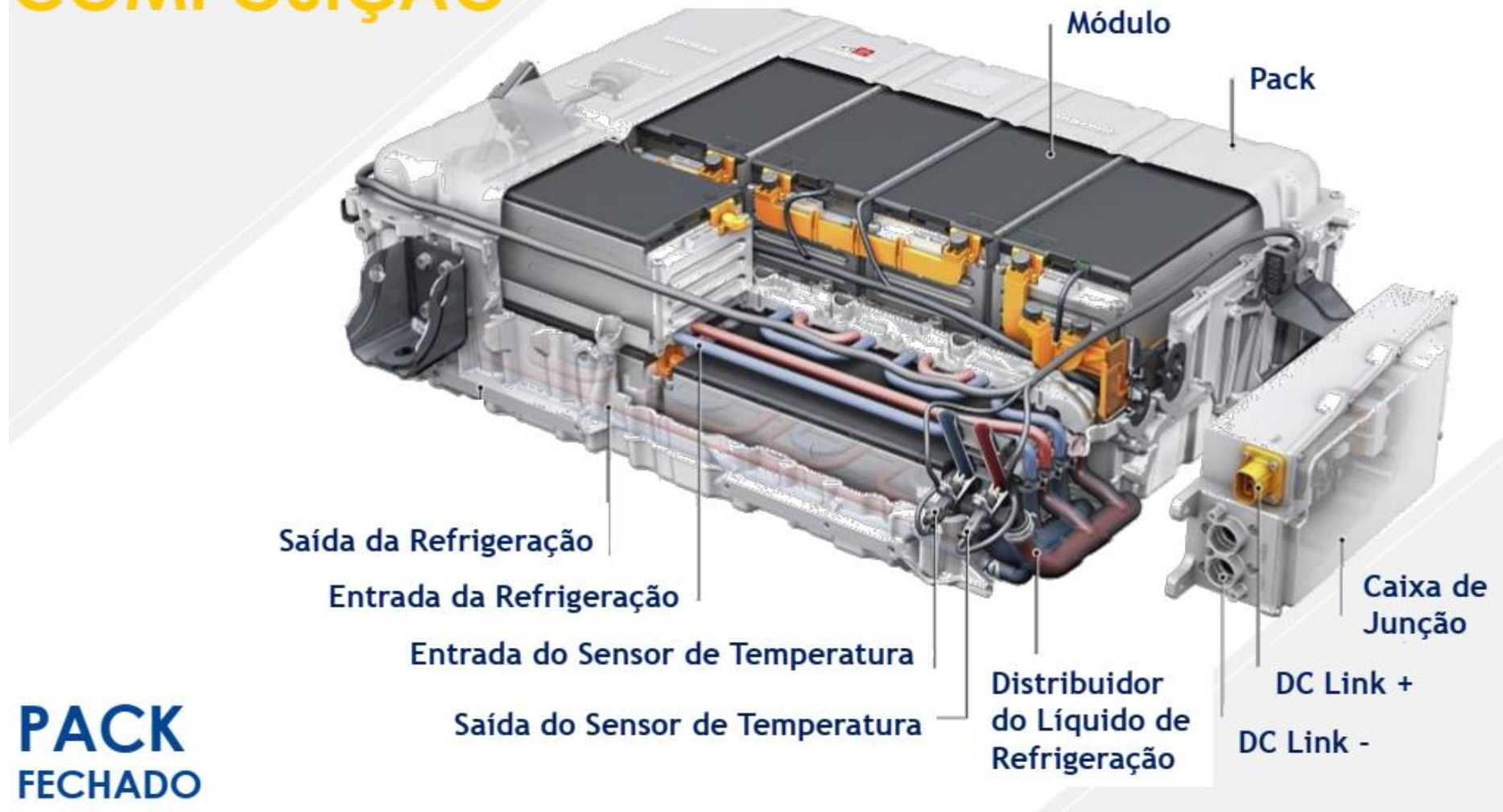
PACK
ABERTO



Fonte: Moura

Exemplo de sistema baseado em baterias de Lítio - Pack

COMPOSIÇÃO



Fonte: Moura

Comparação – Diferente químicas

There are many popular Li-ion family derivatives available today on the open market including (see Table 1):
• Lithium Cobalt Oxide (LCO)
• Lithium Iron Phosphate (LFP)
• Lithium Manganese Oxide (LMO)
• Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (NMC)
• Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LCA)
• Lithium Titanate (LTO)
Promising Li-ion family derivatives not available but under development include:
• Lithium Sulfur (LiS)
• Lithium-Air (Li-Air)

Lithium Battery Type	LCO	LMO (spinel)	LCA	NCM	LFP	LTO
Nominal Voltage	3.6	3.7-3.8	3.65	3.7	3.2	2.7
Operating Temperature (C)	0-55	0-55	-20-55	0-55	0-55	-40-55
Charge/Discharge (C-rate cont.)	1C (limit)	5C	2C	5C	10C	30C
Specific Energy (Wh/kg)	170-190	140-180	200	130-150	90-130	70
Cycle Life Energy (100% Depth-of-Discharge)	500	1000-2000	3500	2000+	3000+	15000+
Applications	Cell phone, laptops, cameras	Cell phone, laptops, cameras	Automotive - EV/ PHEV	Automotive - EV/ PHEV	Power tools, HEV, PHEV, Grid	Power tools, HEV, Grid
Safety	poor	good	poor	good	excellent	excellent
Environmental	poor	good	poor	good	good	good
Comments	"18650" cylindrical design used in laptops, Tesla Roadster	In Chevy Volt and Nissan Leaf, replacement design for LCO	Johnson Controls, Saft design, Panasonic Tesla Model S (NCA)	Emerging, gaining market share in auto applications	Iron phosphate additive improves thermal runaway temp but decreases energy	High power performance, broad temperature range, low energy density (equal to NiMH), high cycle life

Fonte: Energy Systems Network. "Energy Storage Roadmap". 2017.

Comparação – Diferente químicas



LCO - Lithium Cobalt Oxide (LiCoO_2)



LMO - Lithium Manganese Oxide (LiMn_2O_4)



NMC - Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide (LiNiMnCoO_2)



LFP - Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4)



NCA - Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide (LiNiCoAlO_2)



LTO - Lithium Titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)

Fonte: Moura.

Comparação – Diferente químicas

Chemistry	Feasible Li ⁺ transport pathway	Specific energy (Wh kg ⁻¹)	Advantages	Drawbacks	Producers
LFP	1D	140	Safety, cycle life, range of charge, material cost	Low-temperature performance, processing cost	BYD, GY Yuasa, JCI/Saft, Valence, Lishen (A123)
NMC	2D	150	Energy density, range of charge	Safety (better than NCA), cost, commodity exposure	PEVE, Hitachi, Sanyo, LG Chem, Samsung, Ener1, Evonik, GS Yuasa
NCA	2D	160	Energy density, power	Safety, cost, commodity exposure, cycle life, range of charge	JCI/Saft, PEVE, AESC, Panasonic
LMO	3D	150	Cost, safety, power	Cycle life, usable energy	Hitachi, AESC, Sanyo, GS Yuasa, LG Chem, Samsung, Toshiba, Ener1, SK Corp, Altairnano

Fonte: C. Menictas, M. Skyllas-Kazacos and T. M. Lim. "Advances in Batteries for Medium- and Large-scale Energy Storage," Elsevier, 2015.

Comparação – Diferente químicas

QUÍMICA	Lithium Cobalt Oxide	Lithium Manganese Oxide	Lithium Nickel Manganese	Lithium Iron Phosphate	Lithium Nickel Cobalt Aluminum Oxide	Lithium Titanate
Abreviação	LiCoC_2	LiMn_2O_4	LiNiMnCoO_2	LiFePo_4	LiNiCoAlO_2	Li_2TiO_3
Acrônimo	(LCO)	(LMO)	(NMC)	(LFP)	(NCA)	(LTO)



Nissan Leaf



BMW i3



Renault ZOE



Tesla Model S



Smart

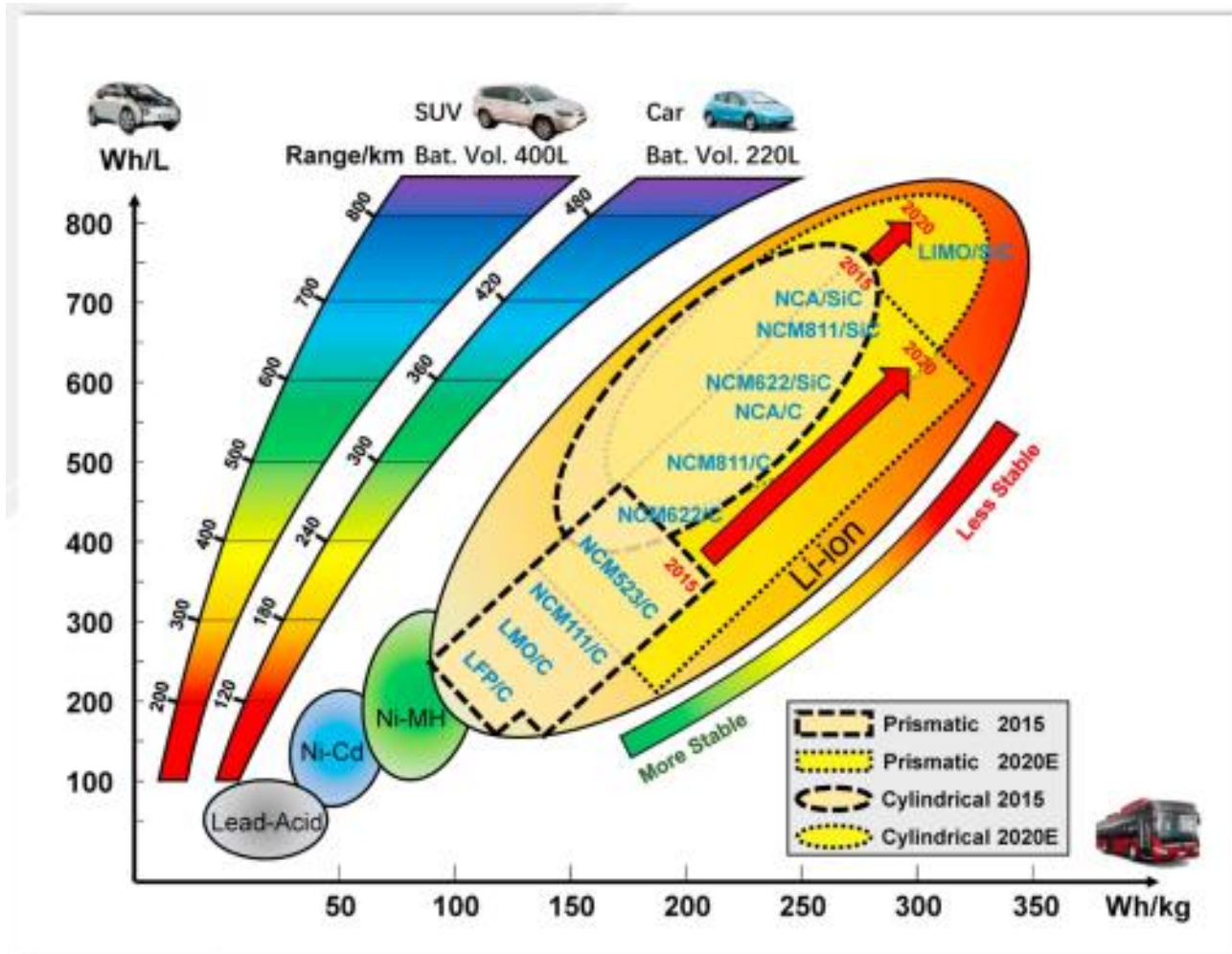


BYD E6



Fonte: Moura.

Comparação – Diferente químicas

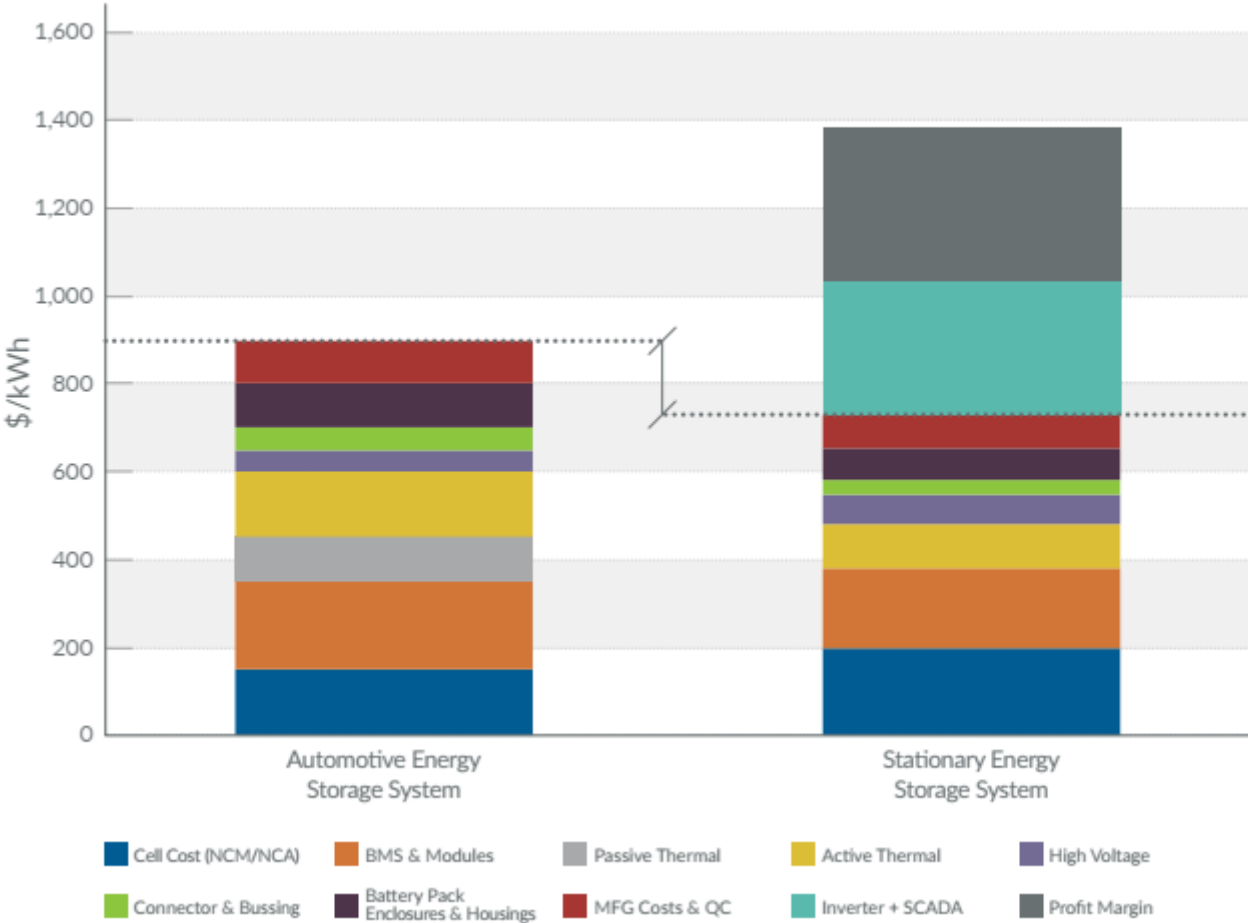


Abbrev.	Electrode	Formula
LFP	Cathode	LiFePO_4
LMO	Cathode	LiMn_2O_4
NCM	Cathode	$\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z]\text{O}_2$
NCM111	Cathode	$\text{Li}[\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}]\text{O}_2$
NCM523	Cathode	$\text{Li}[\text{Ni}_{0.5}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.3}]\text{O}_2$
NCM622	Cathode	$\text{Li}[\text{Ni}_{0.6}\text{Co}_{0.2}\text{Mn}_{0.2}]\text{O}_2$
NCM811	Cathode	$\text{Li}[\text{Ni}_{0.8}\text{Co}_{0.1}\text{Mn}_{0.1}]\text{O}_2$
NCA	Cathode	$\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Al}_z]\text{O}_2, x \geq 0.8$
LIMO	Cathode	$x\text{Li}_2\text{MnO}_3 \cdot (1-x)\text{LiMO}_2$
C	Anode	Graphite, Carbon, or MCMB
Si	Anode	Si, or SiO_x
SiC	Anode	Composite anode with Si and C

Fonte: Moura.

Custo estimado - Sistema de armazenamento de energia - 2017

Figure 7: Price Comparison of Stationary and Automotive Energy Storage Systems - 2017



Fonte: Energy Systems Network. "Energy Storage Roadmap". 2017.

Obrigado pela Atenção



Bons estudos!



Dúvidas: afcupertino@ieee.org



www.gesep.ufv.br



@GESEP



@gesep_vicosa



Gesep



Pesquise por:
“GESEP UFV”



ES
Estimate - Sistemas
Fotovoltaicos



Pesquise por:
“Estimate”