

Raul Fernando Beck
Fundação CPqD



BATERIAS DE LÍTIO-ÍON (LiB) ***PERSPECTIVAS E MERCADO***



Somos o CPqD!

Apaixonados pela criação de tecnologia brasileira e focados na inovação aberta com base em tecnologias da informação e comunicação.

O CPqD é o parceiro ideal para responder aos desafios da jornada de inovação, apoiando desde o design do produto e a obtenção de fomento, executando todo o desenvolvimento tecnológico.

**IDENTIFICANDO OPORTUNIDADES
DE GANHO DE EFICIÊNCIA E
GERAÇÃO DE VALOR COM A
TECNOLOGIA**

**CONSTRUINDO O PROJETO E
VALIDANDO O MODELO, A
PARTIR DE SIMULAÇÕES E
PROTOTIPAÇÃO RÁPIDA**



**COMPARTILHANDO COMPETÊNCIAS
E GARANTINDO A ROBUSTEZ, O
DESEMPENHO E OS REQUISITOS
TÉCNICOS E REGULATÓRIOS**

**DESENVOLVENDO DE FORMA ÁGIL,
A PARTIR DE TÉCNICAS,
FERRAMENTAS E ATIVOS
TECNOLÓGICOS**

ÁREAS DE ATUAÇÃO / COMPETÊNCIAS APLICADOS A PROJETOS DE P&D

COMPUTAÇÃO EM NUVEM
BIG DATA
MOBILIDADE
GEOLOCALIZAÇÃO

VIRTUALIZAÇÃO DAS
FUNÇÕES REDE - NFV

REDES LTE/4G, WIFI
COMUNICAÇÃO ENTRE OBJETOS
IoT

MEDIÇÃO AVANÇADA
INVERSORES E CONVERSORES
ARMAZENAMENTO DE ENERGIA
GD e VE
ENERGY HARVESTING
SISTEMAS PARA OPERAÇÃO E PLANEJAMENTO

AUTENTICAÇÃO, CRIPTOGRAFIA,
HW E SW SEGURO, DETECÇÃO DE FRAUDE



VISÃO COMPUTACIONAL
RECONHECIMENTO DE PADRÕES
APRENDIZADO DE MÁQUINA
FALA - VISÃO

SISTEMAS E SUBSISTEMAS ÓPTICOS
DE ALTA CAPACIDADE 100 A 400 GB/S
DISPOSITIVOS FOTÔNICOS E
MICROELETRÔNICOS

SENSORIAMENTO ÓPTICO,
ACÚSTICO, POR
RADIOFREQUÊNCIA

MICROELETRÔNICA
(DSP, FPGA, ASIC, APLICAÇÕES)



Atuamos como parceiro das Forças Armadas nos processos de modernização da infraestrutura de defesa do país e na evolução da base tecnológica nacional.



CR&P



❖ Laboratórios de Baterias

- ✓ Análise técnica da degradação e falhas em baterias chumbo-ácida ventiladas e reguladas por válvula;
- ✓ Ensaio de Certificação e Conformidade: baterias lítio-íon portáteis (ANATEL) e baterias chumbo-ácidas e alcalinas aplicação estacionária, fotovoltaica, partida, requisitos ANATEL, ABNT, IEC, INMETRO, etc.;
- ✓ Suporte para a avaliação em campo da degradação e da vida útil de baterias chumbo-ácidas;
- ✓ Projetos de baterias lítio-íon e ensaios de desempenho em baterias de tecnologias avançadas (Lítio-íon, Sódio, NiMH, etc.).

❖ Laboratórios de Sistemas de Energia

- ✓ Ensaio de conformidade de sistemas retificadores, unidades retificadoras, fontes de corrente contínua, e unidades de supervisão CC e CA;
- ✓ Análise técnica de falhas em unidades retificadoras, fontes, sistemas de corrente contínua e alternada;
- ✓ Ensaio em painéis fotovoltaicos, controladores de carga e inversores de potência.

- ✓ Atuação na área de armazenamento de energia desde 1989 (mais de 20 projetos de P&D Aneel)
- ✓ Análise de desempenho de VEs e Eletropostos (estações de recarga de VEs plug-in) em condições reais de uso
- ✓ Ensaio normativos elétricos e funcionais em Eletropostos
- ✓ Estudos do impacto da recarga de diversos modelos de VEs na rede elétrica (Qualidade de Energia)
- ✓ Desenvolvimento de baterias de lítio para veículo elétrico (VEB) e híbrido (VEH), e aplicações FV
 - Caracterização laboratorial das células, módulos e *pack*
 - Desenvolvimento do BMS (*Battery Monitoring System*) e algoritmos de SoC e SoH
 - Desenvolvimento do empacotamento e refrigeração
- ✓ Desenvolvimento de *drivers* (inversores) de acionamento dos motores de veículos elétricos e híbridos
- ✓ Estudos laboratoriais e em campo de diversas tecnologias de baterias (chumbo-ácido, Li-ion, Zebra, CaC, etc.)
- ✓ Coordenação das Comissões Técnicas ABNT - COBEI CB-003 responsáveis pela elaboração de normas de Baterias Estacionárias e de Veículos Elétricos Rodoviários e Industriais
- ✓ Coordenação da Comissão Técnica de Veículos Elétricos e Híbridos SAE BRASIL
- ✓ Participação no GT Inmetro para regulamentação e homologação de equipamentos para Sistemas Fotovoltaicos

- Normas publicadas pela CE03:069.001 - Comissão de Estudos Veículos Elétricos Rodoviários e Industriais

- ✓ **ABNT NBR IEC 61434** Células e baterias secundárias contendo eletrólitos alcalino ou outro não-ácido - Guia para designação da corrente em normas de células e baterias secundárias alcalinas
- ✓ **ABNT NBR IEC 62660-1** Células de lítio-íon secundárias para propulsão de VEs - Parte 1: Ensaios de desempenho
- ✓ **ABNT NBR IEC 62660-2** Células de lítio-íon secundárias para propulsão de VEs - Parte 2: Ensaios de confiabilidade e abuso
- ✓ **ABNT NBR IEC61851-1** Sistema de recarga condutiva para VEs - Parte 1: Requisitos gerais
- ✓ **ABNT NBR IEC61851-21** Sistema de recarga condutiva para VEs - Parte 21: Requisitos de VEs para a conexão condutiva a uma alimentação em c.a. e c.c.
- ✓ **ABNT NBR IEC61851-22** Sistema de recarga condutiva para VEs - Parte 22: Estação de recarga em c.a. para VEs
- ✓ **ABNT NBR IEC 62196-1** Plugues e Tomadas Fixas e Móveis para VEs - Recarga Condutiva para VEs - Parte 1: Requisitos gerais
- ✓ **ABNT NBR IEC 62196-2** Plugues e Tomadas Fixas e Móveis para VEs - Recarga Condutiva para VEs - Parte 2: Requisitos dimensionais de compatibilidade e de intercambiabilidade para os acessórios em c.a com pinos e contatos tubulares
- ✓ **ABNT IEC/TR 60783** Fiação e conectores dos veículos elétricos rodoviários

- Normas publicadas pela CE05:110.021 - Comissão de Estudos Veículos Propelidos a Eletricidade

- ✓ **ABNT ISO TR 8713** Veículos rodoviários propelidos a eletricidade – Vocabulário
- ✓ **ABNT NBR 16567** Veículos rodoviários híbridos elétricos leves - Medição de emissão de escapamento e consumo de combustível e energia - Métodos de ensaio (SAE J1711:2010)

ABNT/CE03:069.01 - Comissão de Estudos Veículos Elétricos Rodoviários e Industriais

✓ GT1: Documentos IEC/TC69

Apresenta contribuições e posicionamento do Brasil nas normas em elaboração na IEC/TC69 – *Electric road vehicles and electric industrial trucks*

✓ GT2: Sistemas de armazenamento de energia em VEs

- PN 03:069.01-013 (ISO 12405-1): Especificação de ensaio para baterias tracionárias de Lítio-íon – Parte 1: Aplicação de alta potência
- PN 03:069.01-014 (ISO 12405-2): Especificação de ensaio para baterias tracionárias de Lítio-íon – Parte 2: Aplicação de alta energia

✓ GT3: Sistemas de Recarga para VEs

- PN 03:069.01-015 (IEC 61851-23): Sistema de recarga condutiva para VEs – Parte 23: Estação de recarga em corrente contínua para VEs
- PN 03:069.01-016 (IEC 61851-24): Sistema de recarga condutiva para VEs – Parte 24: Protocolo de comunicação
- ISO 15118-1:2013 - Road vehicles - Vehicle to Grid Communication Interface -- Part 1: General information and use-case definition
- ISO 15118-2:2014 - Road vehicles - Vehicle-to-Grid Communication Interface -- Part 2: Network and application protocol requirements

✓ GT4: Acionamentos e Sistemas de Controle

- Projeto ABNT IEC/TR 60784 (1984) - Instrumentation for electric road vehicles
- Projeto ABNT IEC/TR 60785 (1984) - Rotating machines for electric road vehicles
- Projeto ABNT IEC/TR 60786 (1984) - Controllers for electric road vehicles
- ISO 6469-1:2009 - Electrically propelled road vehicles – Safety specifications - Part 1: On-board rechargeable energy storage system (RESS)
- ISO 6469-2:2009 - Electrically propelled road vehicles – Safety specifications - Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures
- ISO 6469-3:2011 - Electrically propelled road vehicles – Safety specifications - Part 3: Protection of persons against electric shock
- ISO 20653:2013 - Road vehicles - Degrees of protection (IP code) - Protection of electrical equipment against foreign objects, water and access

✓ GT12 (CE03:023.02): Plugues e Tomadas para VEs

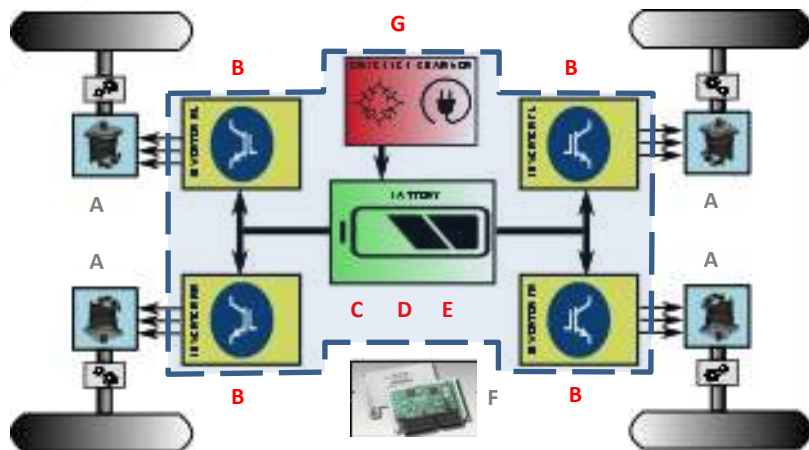
Desenvolve suas atividades no âmbito da CE03:023.02 - Comissão de Estudos de Interruptores, Tomadas, Pinos e Placas de Uso Geral

- Aguarda evolução dos trabalhos de elaboração de novas normas em andamento na IEC

ABNT/CE05:110.021 - Comissão de Estudos Veículos Propelidos a Eletricidade

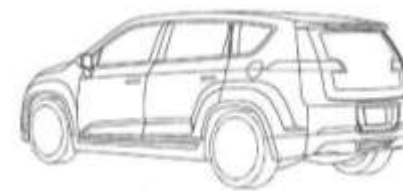
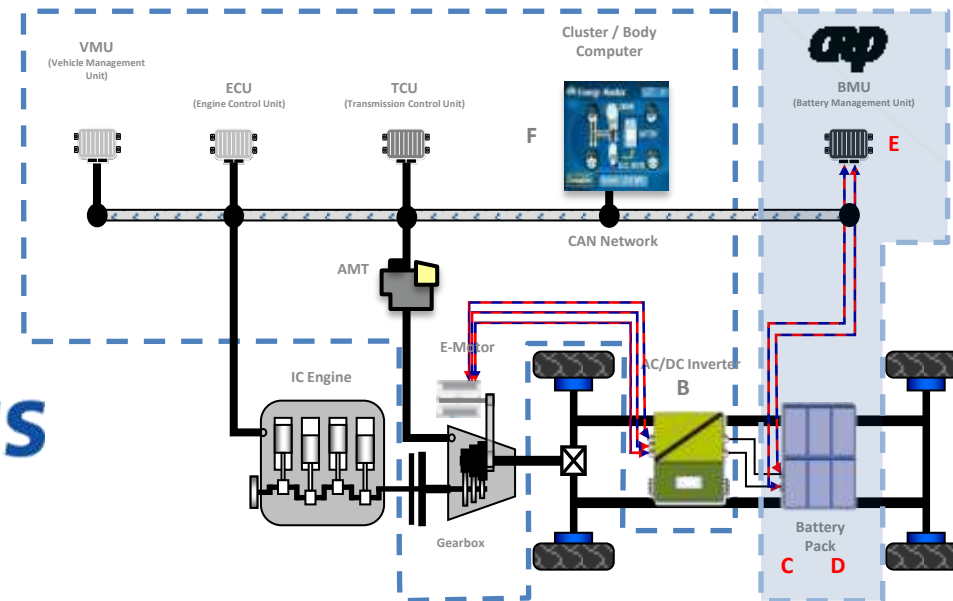
- PN 005:110.021-003 - Ensaio de Medição de Consumo de Energia e Autonomia de um Veículo Elétrico a Bateria

Desenvolvimento de Inversor, Recarregador e Bateria+BMS (LiB) para VE Puro de alto desempenho

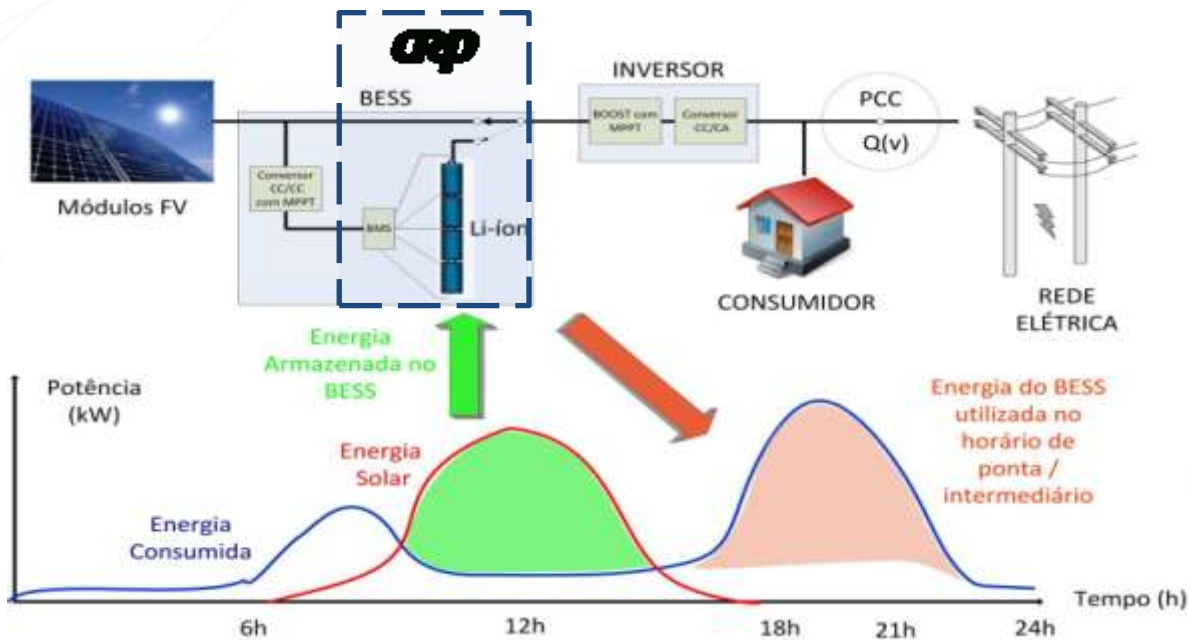


- A - Motores elétricos
- B** - Inversores (*drivers*)
- C** - Bateria
- D** - Supercapacitor
- E** - Battery Management System (BMS)
- F - Sistema de Controle
- G** - Recarregador (retificador)

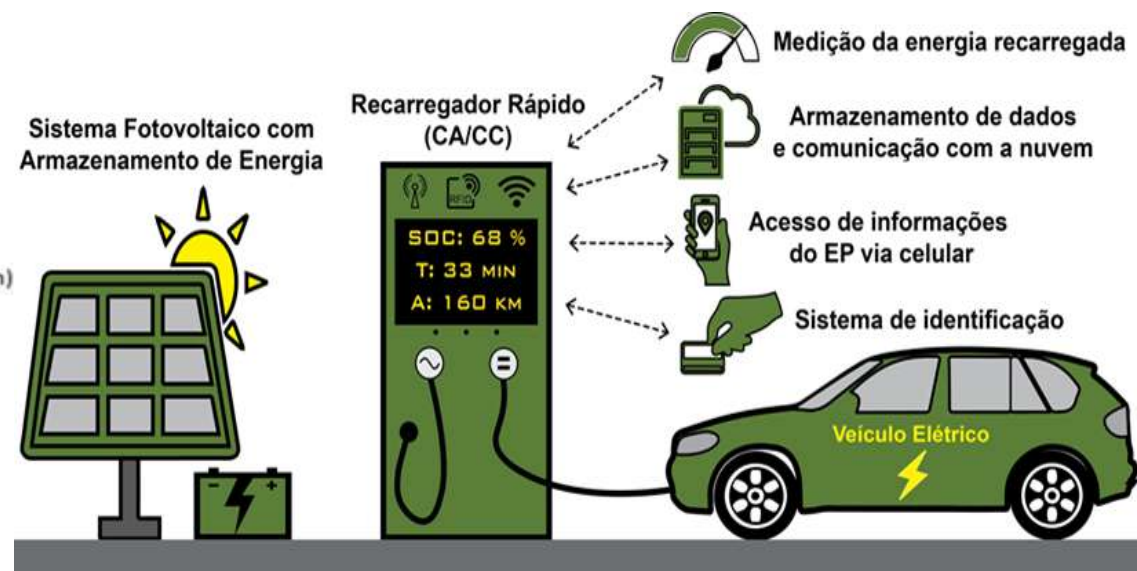
Desenvolvimento de Bateria+BMS (LiB) para hibridização de veículos comerciais



Desenvolvimento de BESS (Battery Energy Storage System) Li-ion para aplicações fotovoltaicas e On-grid e Off-grid (residencial e comercial)



Desenvolvimento de Estações de Recarga CA e CC para VEs



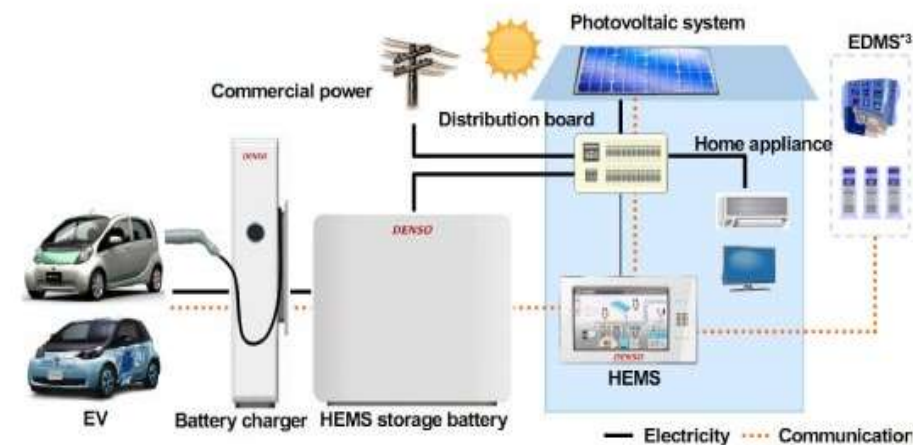
LIVING LAB: Avaliação de interoperabilidade e desempenho eletromobilidade – VEs, EPs, Grid (ANEEL - CPFL)



Projeto Smart Grid em Fernando de Noronha: Implementação de Eletroposto sustentável com geração FV e baterias de lítio-íon (ANEEL - CELPE)

Smart EV-Home Grid

SMART GRID: Desenvolvimento de Sistema de Gestão Inteligente de fontes renováveis, armazenamento distribuído e veículos elétricos plug-in integrados em plataforma Smart Grid (ANEEL - LIGHT)

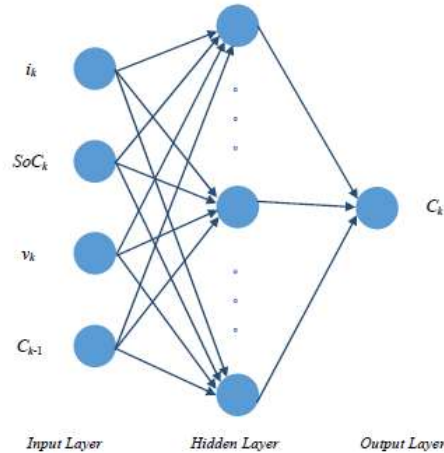


Baterias de lítio (48V) substituindo bancos de baterias chumbo-ácidas

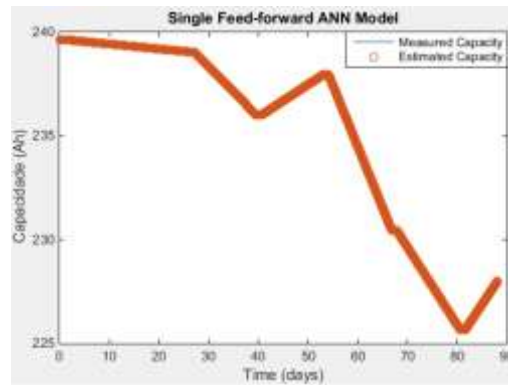


Avaliação de bateria de sódio em aplicações estacionárias (48 Vcc)





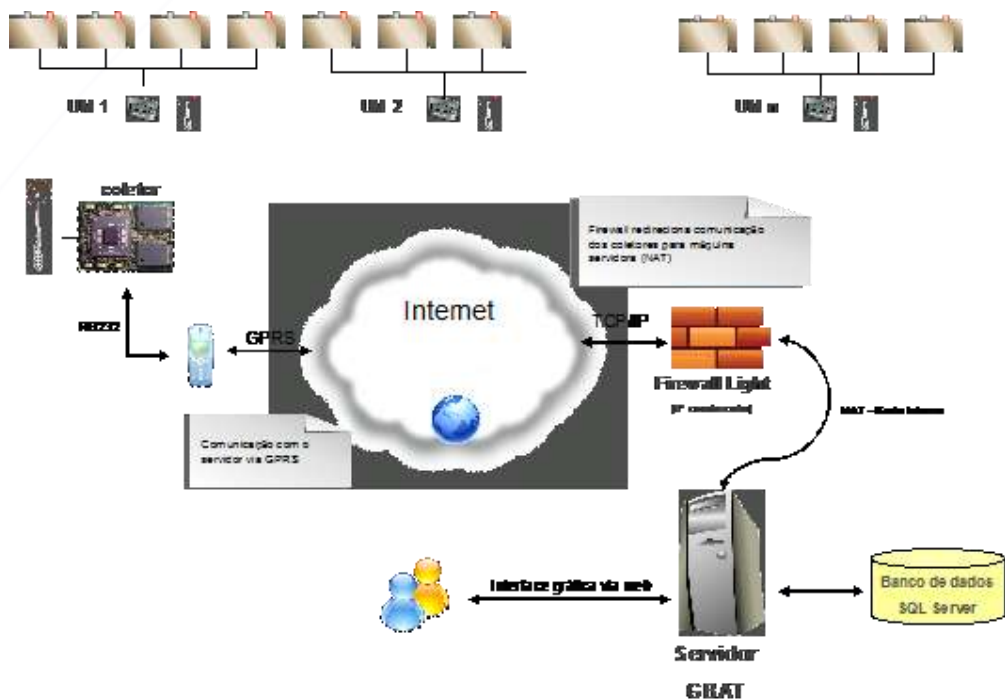
Desenvolvimento de algoritmos para estimativa de degradação de baterias chumbo-ácidas para Sistemas FVs (ANEEL - GUASCOR)



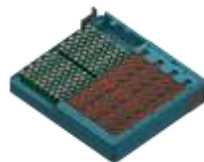
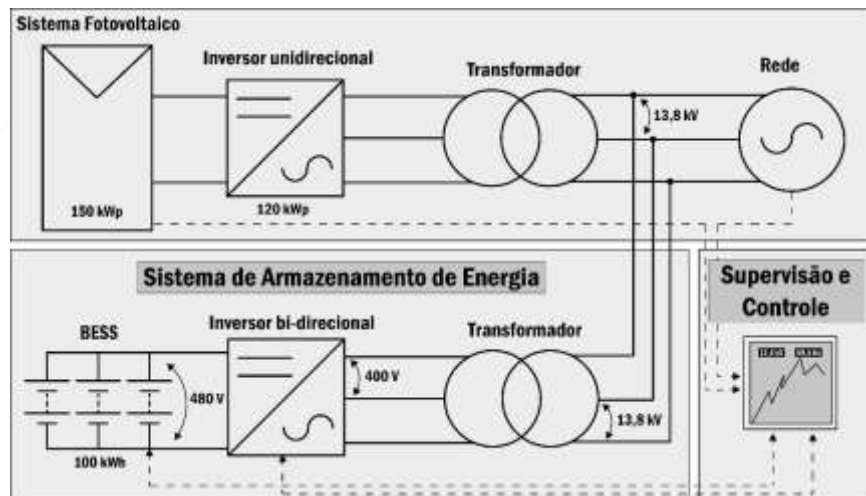
CaC + LiB para substituir baterias chumbo-ácidas nos Sistemas Auxiliares de Subestações (ANEEL - ELETROSUL)



Sistema de monitoramento e gestão de bateria (ANEEL - Light)

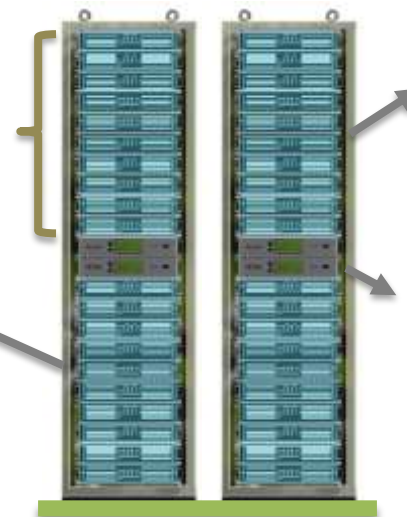


CHAMADA ESTRATÉGICA ANEEL Nº 21 / 2016 - Desenvolvimento do BESS nacional no projeto Serviços Ancilares com Armazenamento de Energia em Sistemas Elétricos com Elevada Geração Intermitente (ANEEL - CTEEP)



10 modules in
serie each string

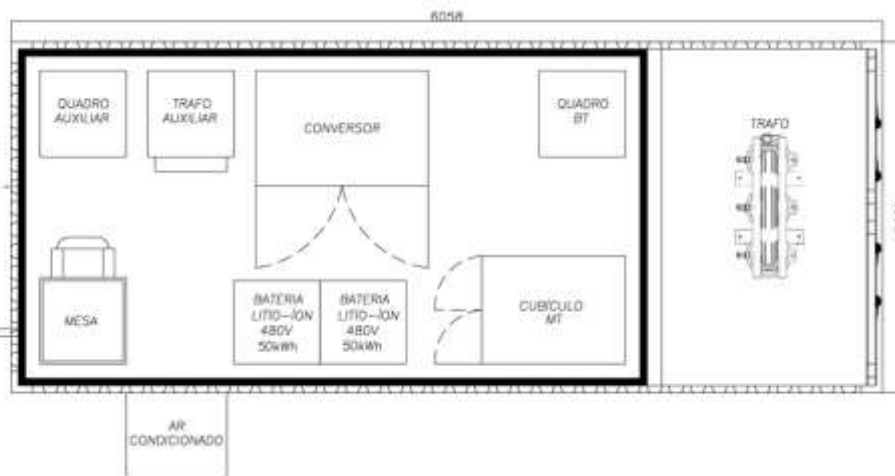
4 strings in
paralel
total 100 kWh



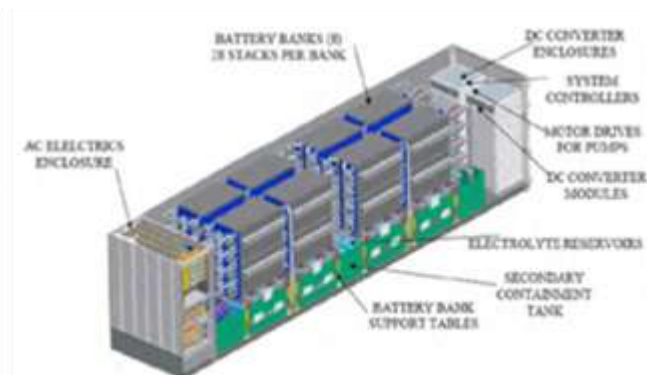
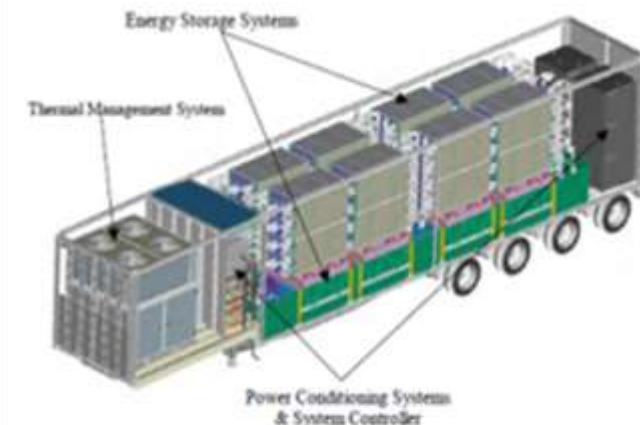
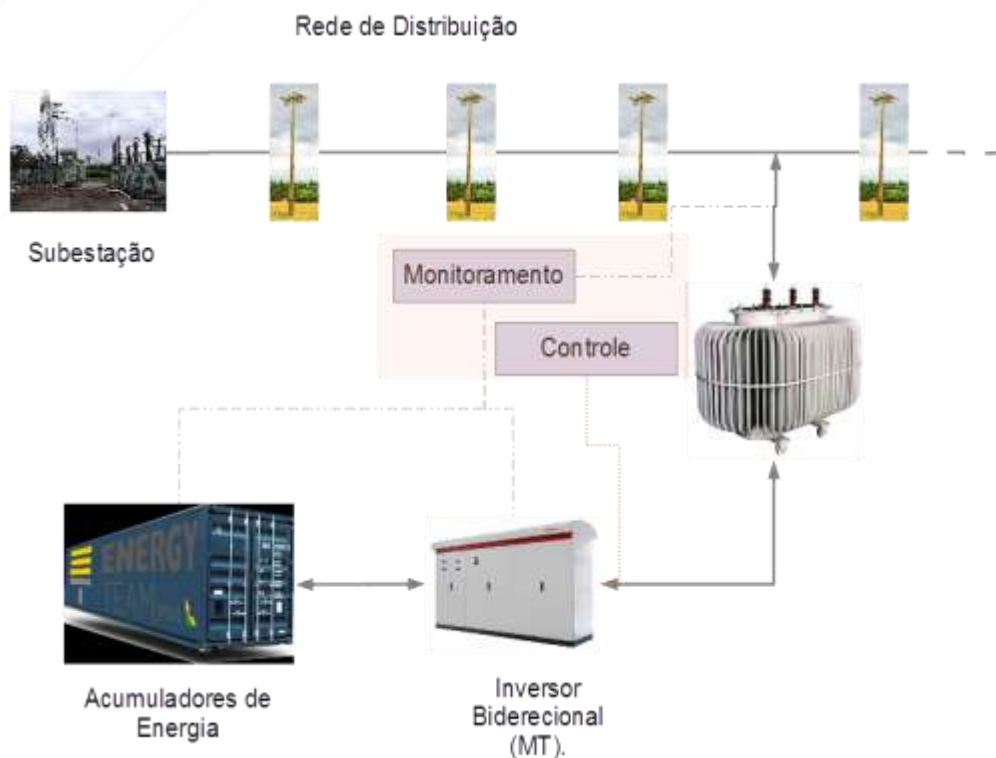
Nominal
Voltage: 480 V
Nominal
Current: 209 A

Master BMS

- SoC
- SoH
- Management & Control
- External communication

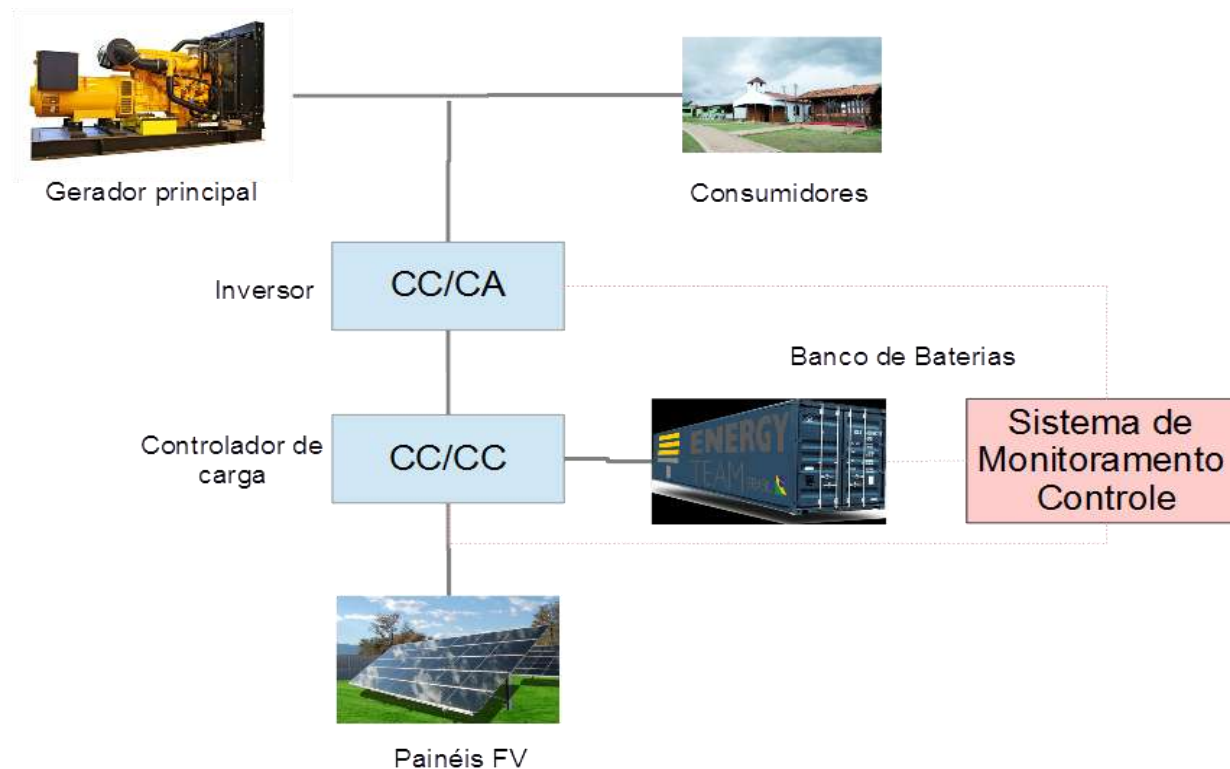
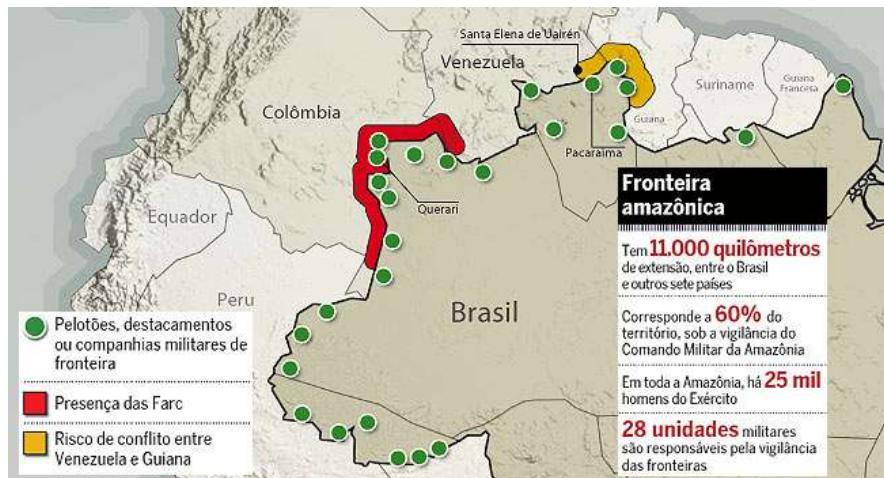


CHAMADA ESTRATÉGICA ANEEL Nº 21 / 2016 - Sistema de Armazenamento de Energia Transportável 1 MW / 1 MWh (ANEEL - COPEL)



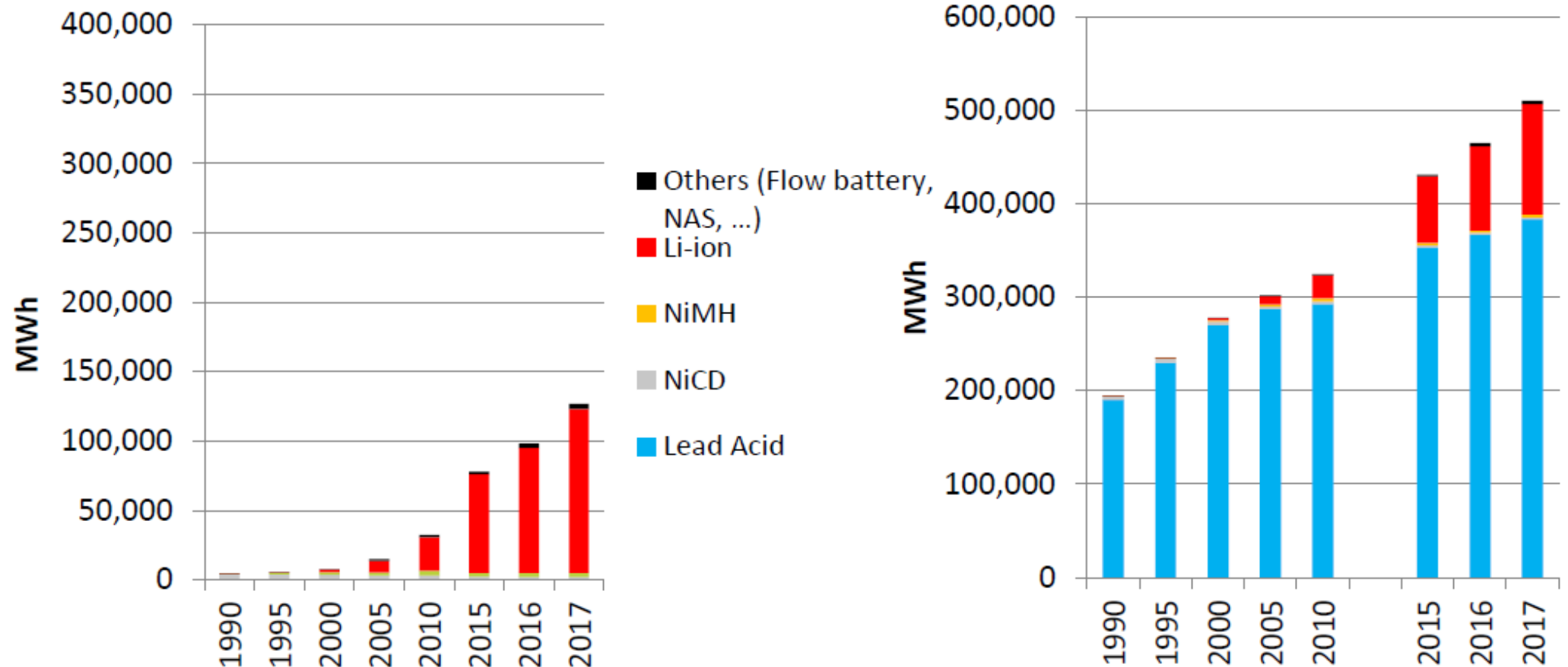
CHAMADA ESTRATÉGICA ANEEL Nº 21 / 2016 - Gerador Híbrido com Armazenamento de Energia para Localidades Remotas (ANEEL - ELETROBRÁS)

- Baseado em tecnologia diesel + baterias + energia fotovoltaica
- Redução de até 50% no consumo de diesel (<http://spectrum.ieee.org/energywise/aerospace/military/hybrid-generator-would-cut-military-base-fuel-costs-in-half>)
- Capacidade de operação integrada com outros sistemas de microgeração incluindo recursos hídricos disponíveis



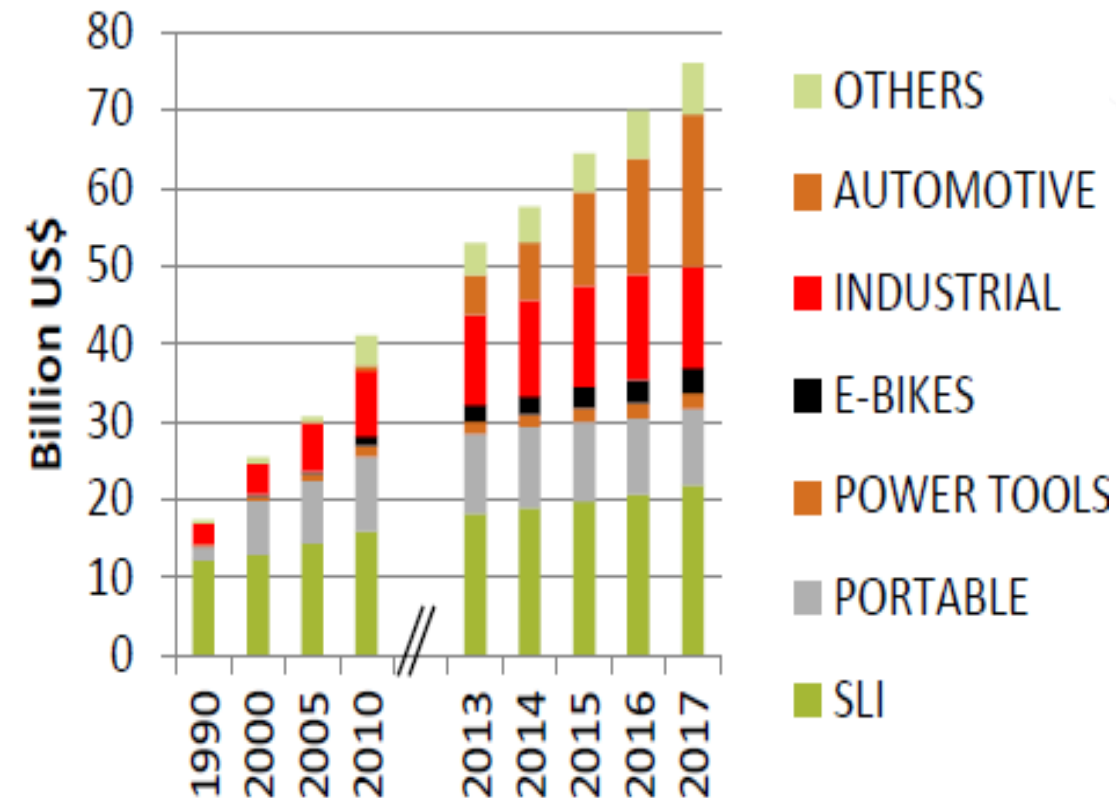
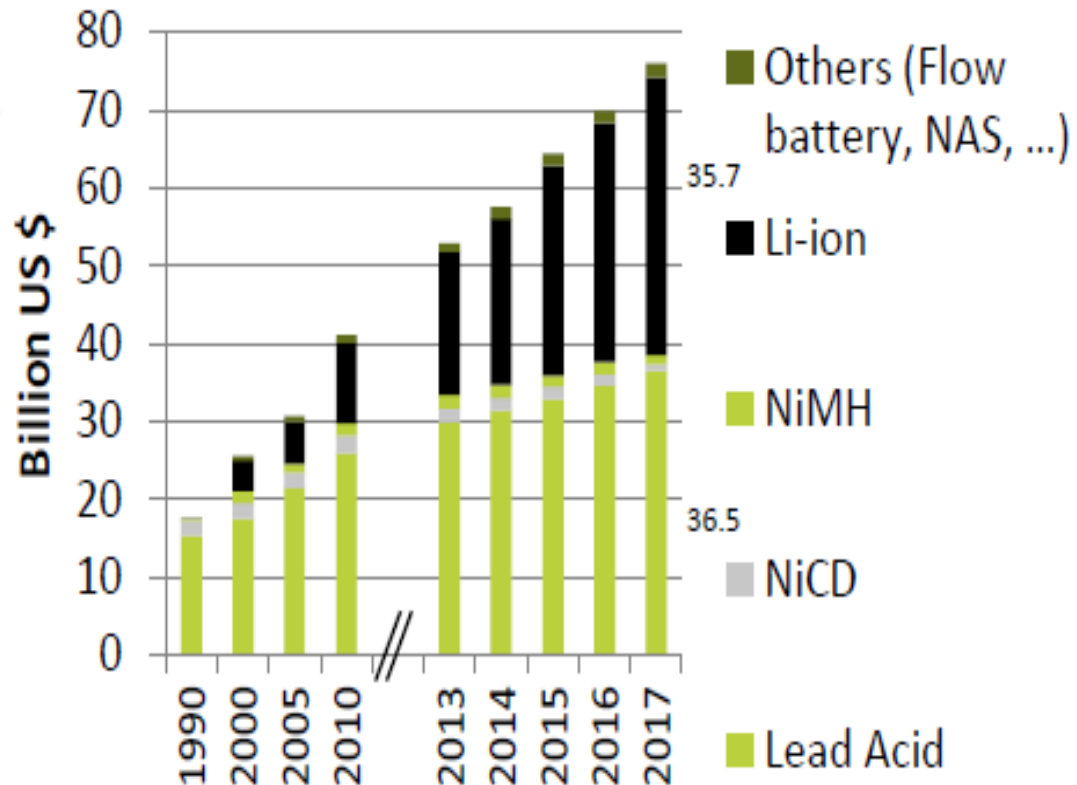
Mercado global de baterias - Market share MWh

- LiB: maior taxa de crescimento e maior parte dos investimentos industriais ($CAGR_{2010-2017} = +26\%$)
- Chumbo-ácida: ainda possui o maior Market Share global (~ 80 % em MWh)



Mercado global de baterias - Market share US\$

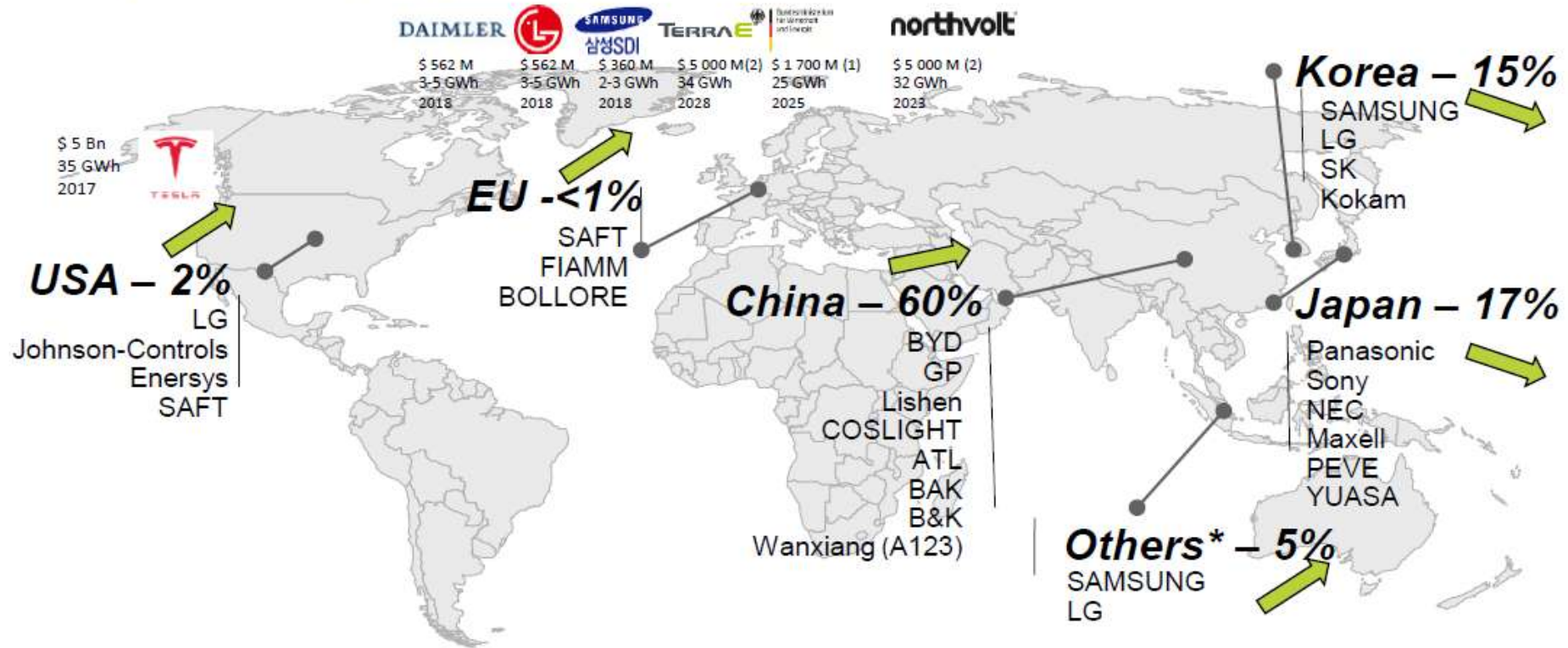
- Mercado de US\$ 75 bilhões em 2017 (nível Pack) – LiB = PbA em US\$
- LiB crescimento médio de 9 % ao ano (2010-2017)



Produção mundial de células de lítio

Korean companies start to move in Malaysia

New production capacity in Europe and US

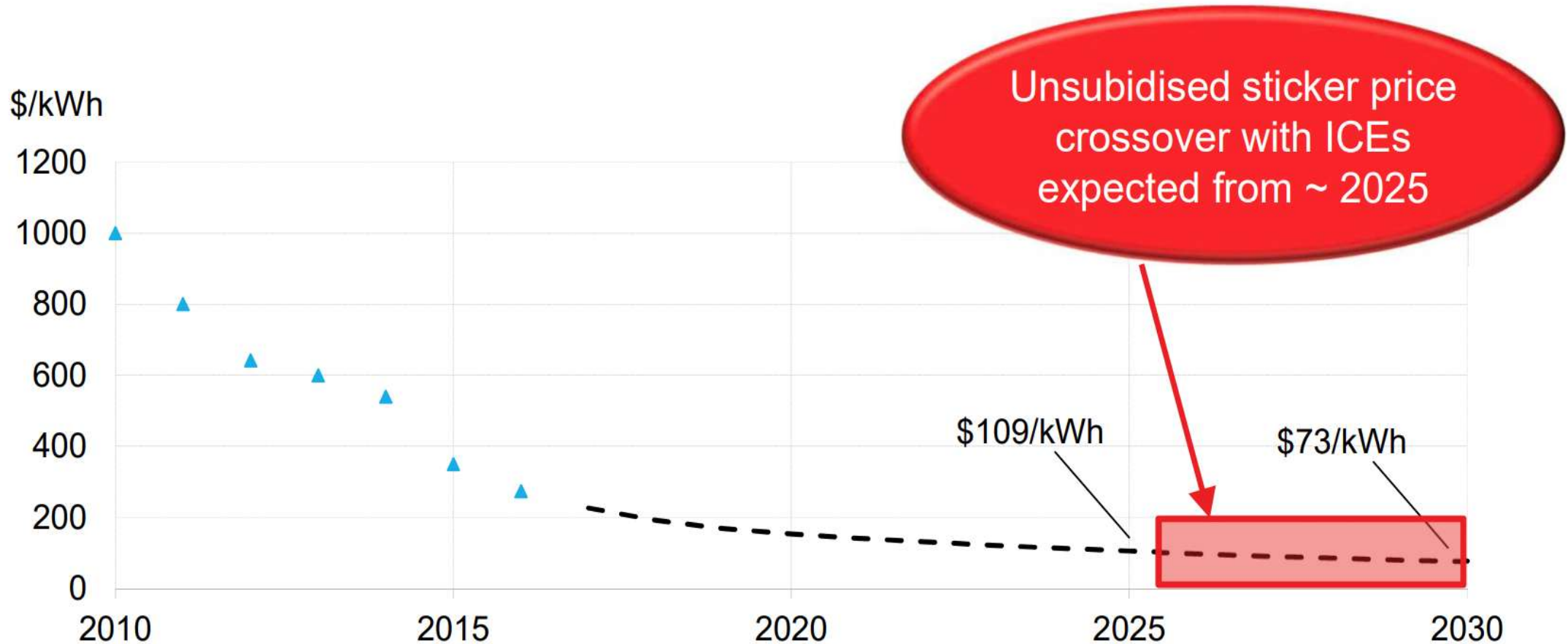


Source: AVICENNE 2017

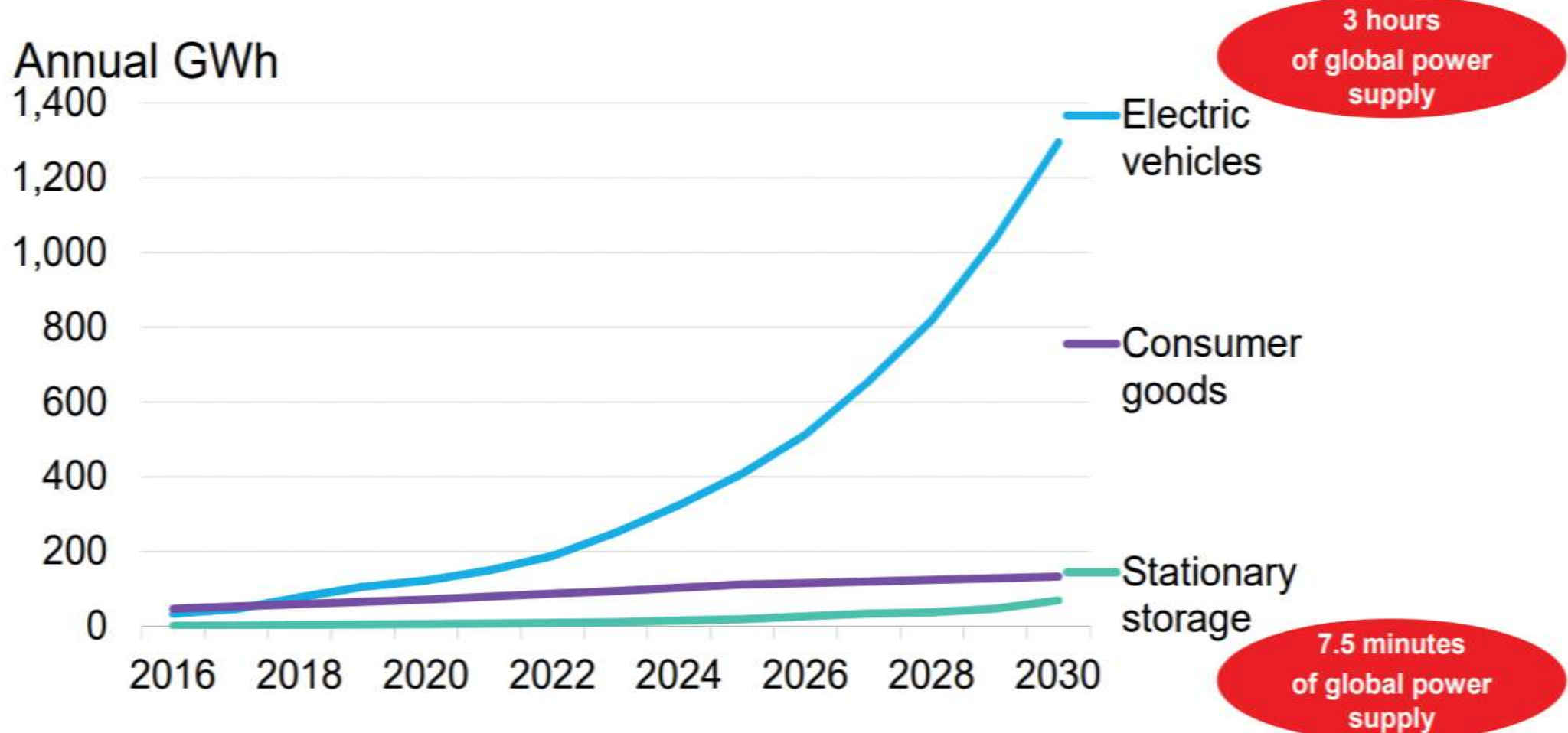
* OTHERS: Malaysia mostly
 (1) Government subsidies only
 (2) AVICENNE Estimation

Preço pack de LiB – Projeções até 2030

- Queda de 70 % entre 2010 e 2017
- Previsão de queda de mais 70 % entre 2017 e 2030



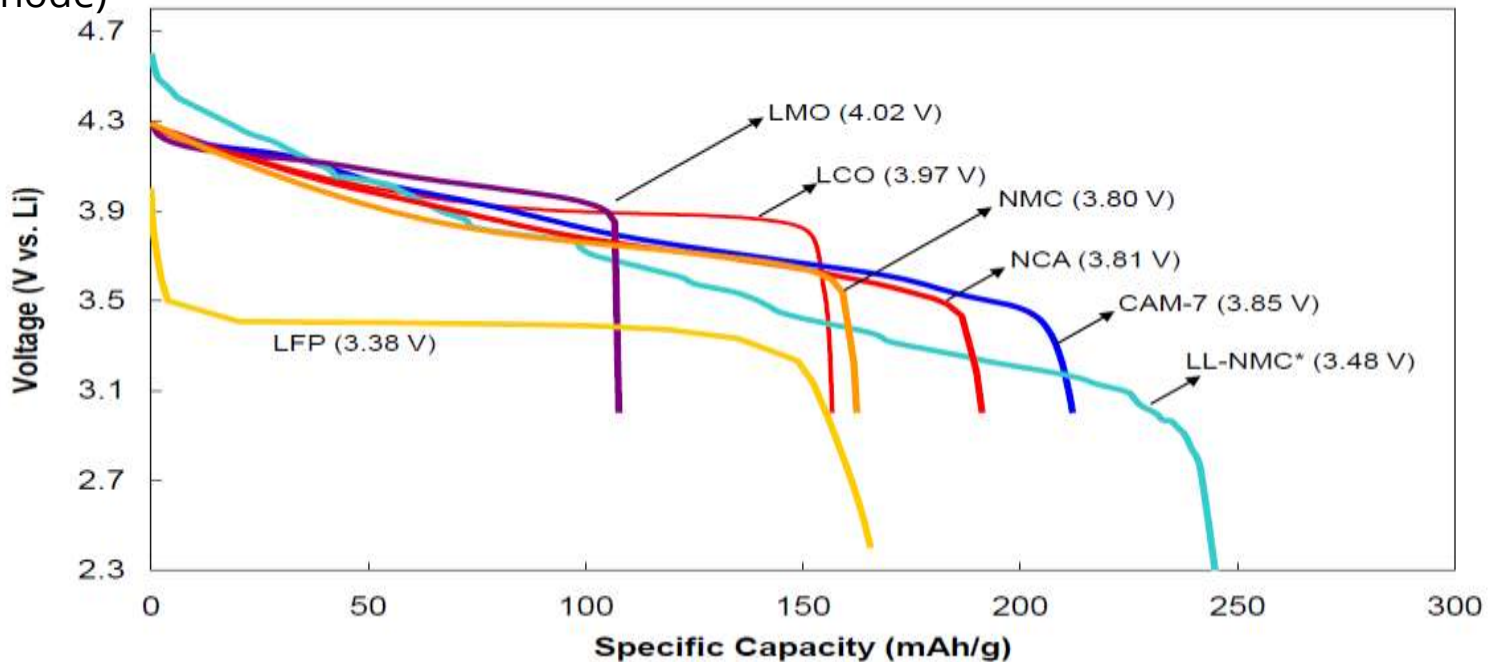
Evolução por segmento de mercado LiB até 2030



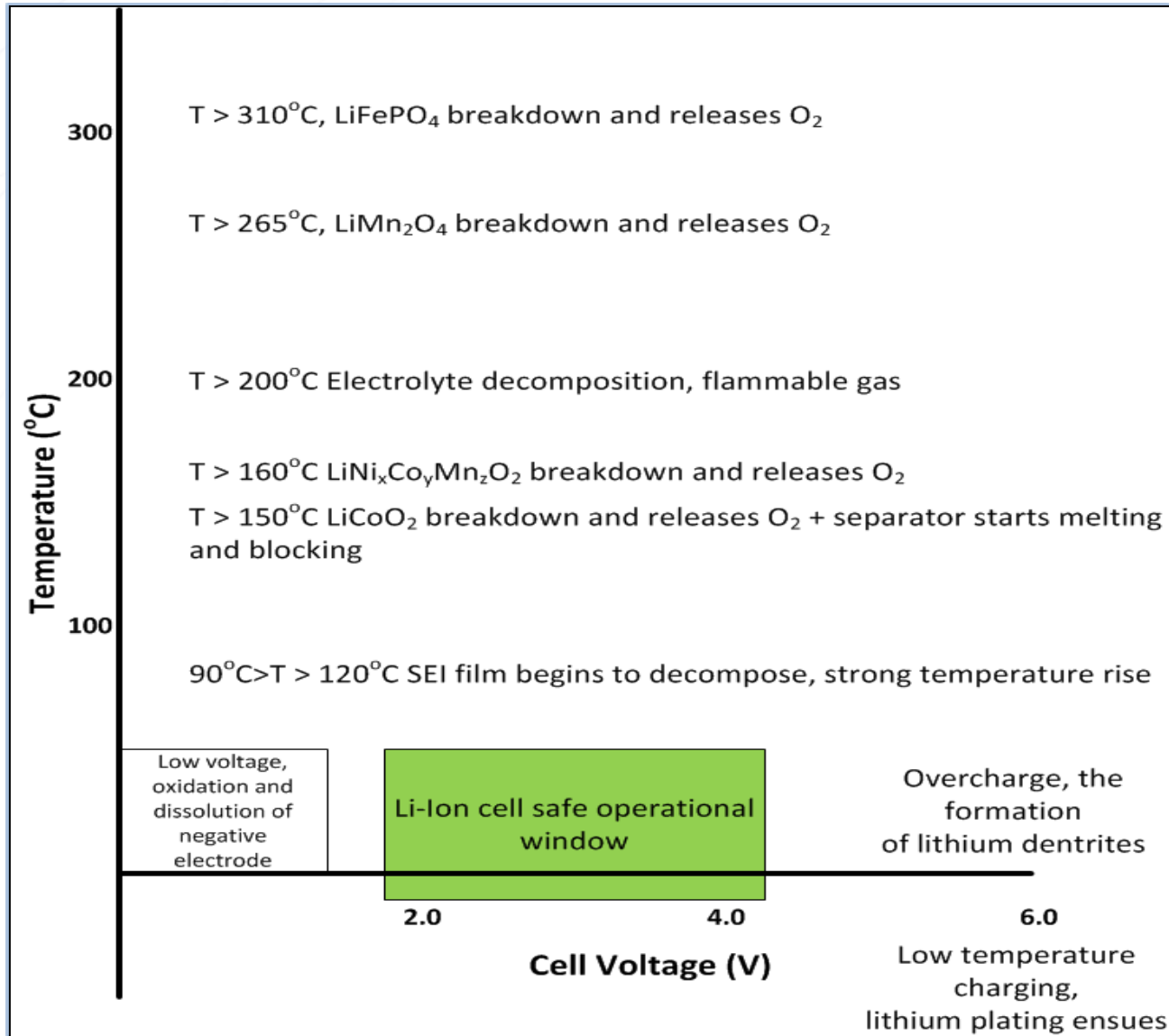
Source: Bloomberg New Energy Finance. Note: Assumes 100% of stationary is lithium-ion.

Capacidade específica para diversas tecnologias de LiB

1. Lithium Cobalt Oxide (LCO cathode)
2. Lithium Manganese Oxide spinal (LMO cathode)
3. Lithium Nickel Cobalt Manganese oxide (NCM cathode)
4. Lithium Nickel Cobalt Aluminum (NCA cathode)
5. Lithium Iron Phosphate (LPF cathode)
6. Lithium Sulfur (Li-S, Sulfur cathode - Li Metal anode)
7. Lithium Metal (Li Metal anode)
8. Lithium with Nano-Structure Silicon (Li-Si, Si anode)
9. Lithium Titanate (LTO anode)



Limites operacionais



As células de lítio-íon necessitam do controle eletrônico (BMS):

- Segurança
- Vida útil
- Desempenho

LiB e BMS – Battery Management System



BMS

- Individual cell supervising
- Temperature monitoring
- Balancing all cells
- Communication to ECUs



BMS – Funcionalidades

- Objetivo – estender a vida útil da bateria e a autonomia de uso

Funcionalidades mínimas (em ordem de importância)

- Evitar que as células Li-íon excedam o limite da tensão de recarga ou de descarga, interrompendo a corrente
- Evitar que qualquer célula Li-íon exceda o limite da temperatura de operação, interrompendo a circulação de corrente ou ativando resfriamento
- Evitar que a corrente de recarga ou de descarga exceda os limites das células (em função da tensão e temperatura das células), interrompendo ou reduzindo a corrente
- Realizar o balanceamento de carga das células, na recarga e/ou na descarga

BMS – Funcionalidades

- Objetivo – estender a vida útil da bateria e a autonomia de uso

Outras Funcionalidades

- Manter a bateria em condição de atender qualquer demanda imediata (descarga/recarga...)
- Determinar e informar o Estado de Carga (SoC) da bateria a qualquer instante
- Determinar e informar o Estado de Saúde (SoH) da bateria a qualquer instante
- Manter histórico de operação da bateria
- Implementar algoritmos otimizados de recarga das células
- Implementar algoritmos de operação da bateria prevendo envelhecimento das células
- Possibilitar a comunicação da bateria com o veículo

IMPORTANTE: O BMS deve ser customizado e parametrizado conforme a eletroquímica da célula e as condições operacionais da bateria

BMS – Balanceamento

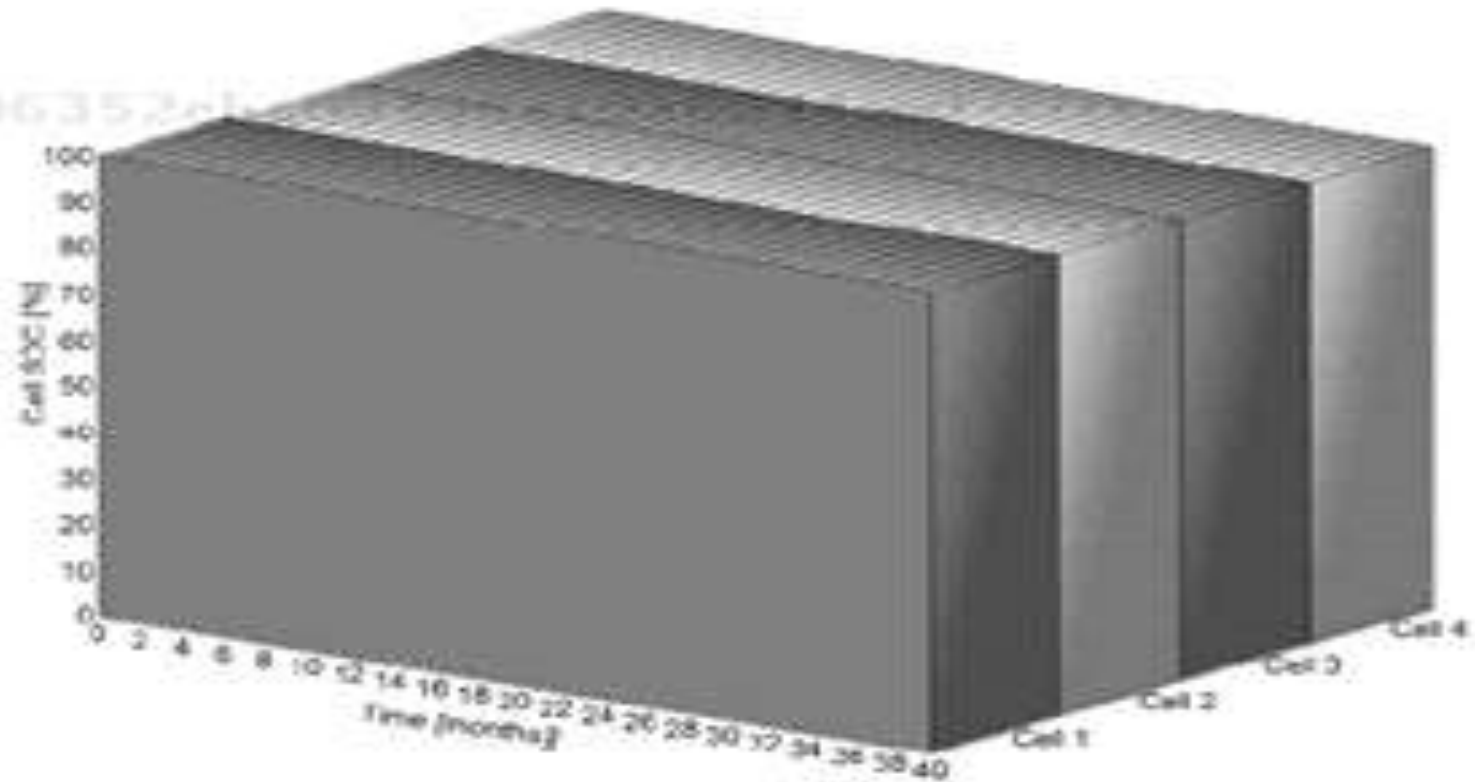


Figure 1.22 An ideal battery on the shelf. It maintains its SOC indefinitely.

BMS – Balanceamento



Figure 1.23 A battery on the shelf made up of identical cells. It remains balanced over time, although its SOC decreases due to leakage.

BMS – Balanceamento

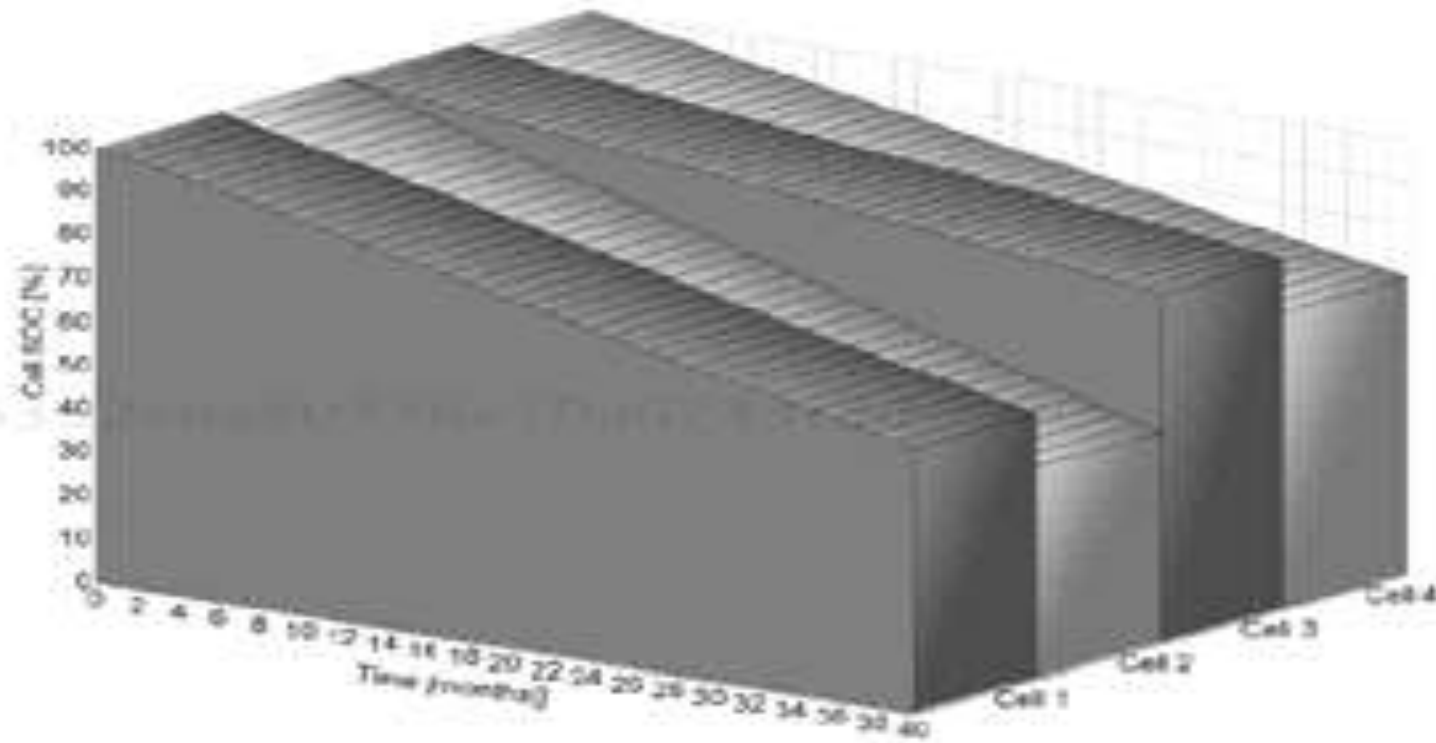
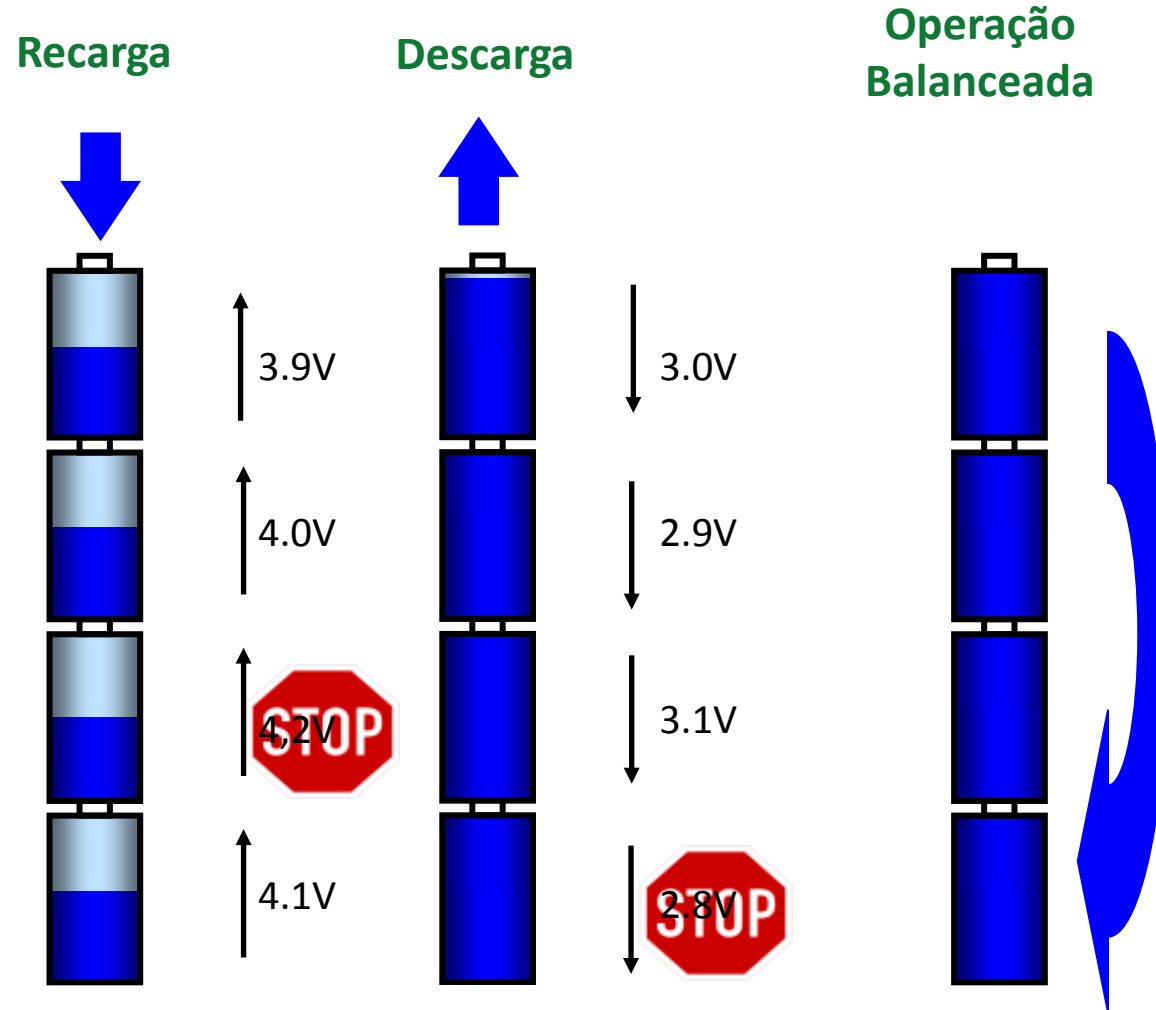


Figure 1.24 Real-world battery: the leakage of each cell is different, so it becomes unbalanced over time.

BMS – Balanceamento de carga

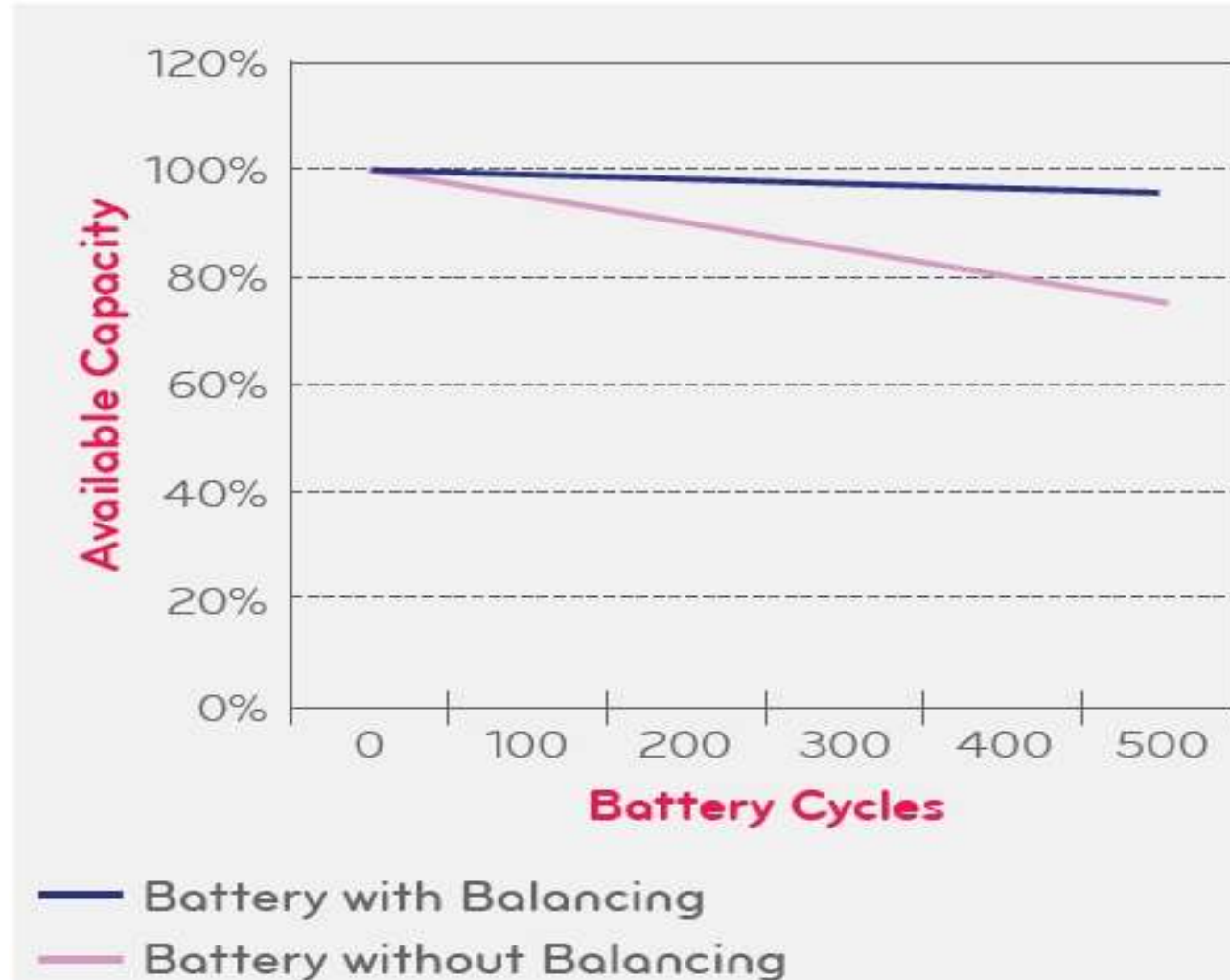
- Balanceamento

- Li-ion muito sensível a excesso de recarga
- Descarga excessiva destrói a célula
- Desempenho
- Vida útil
- Cálculo do SoC

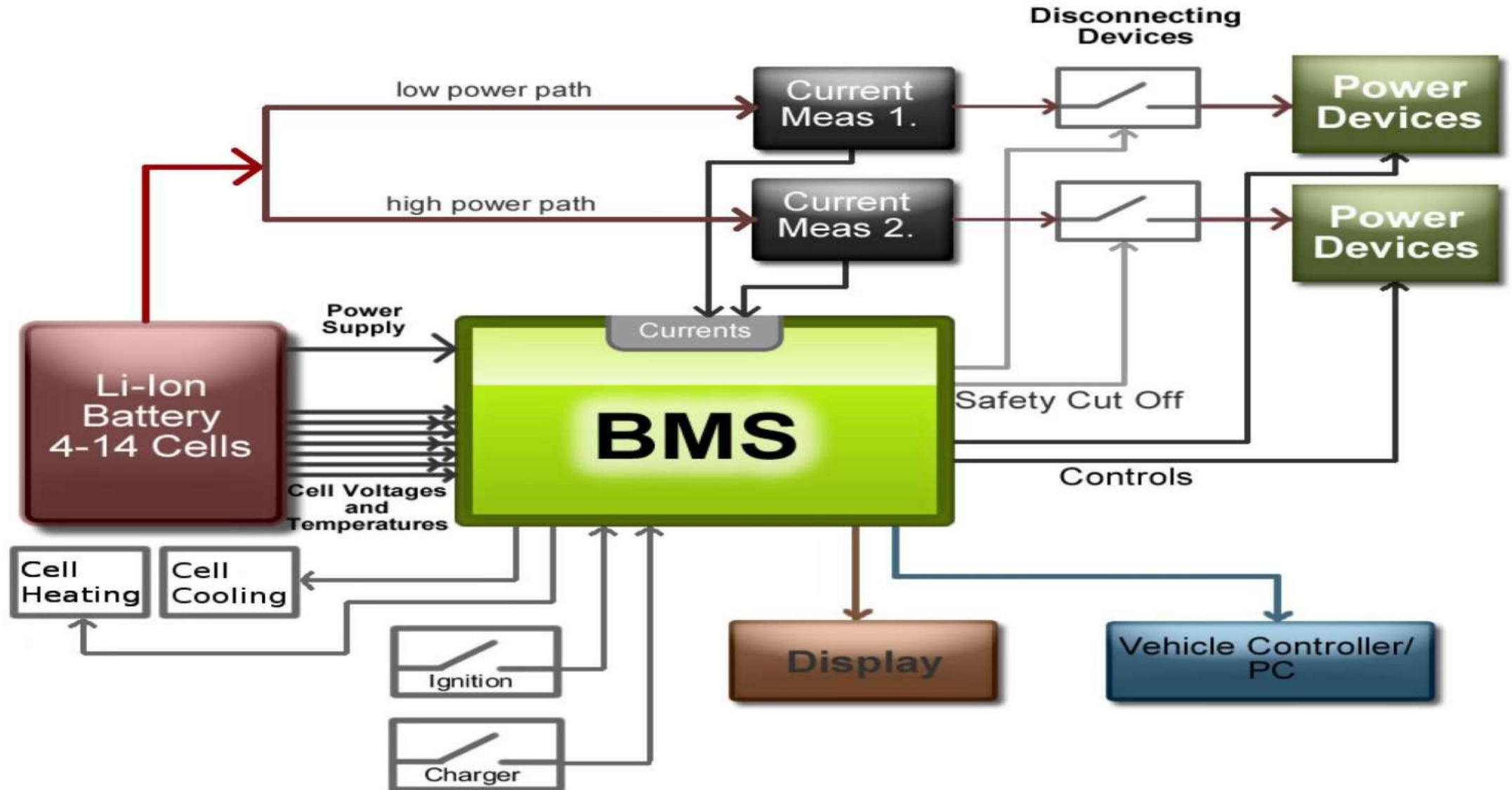


BMS – Resultados de balanceamento

Effect of balancing on capacity



BMS - Estrutura sistêmica



Bateria para veículos elétricos e híbridos

TESLA Model S Battery Pack



Battery Pack

18650 Panasonic Cells

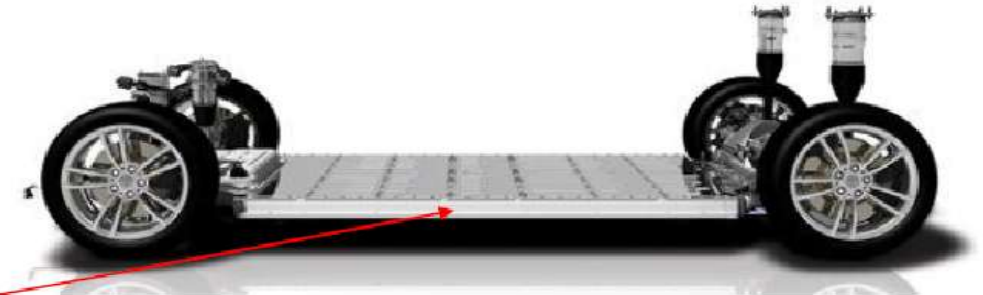
Configuration 16 Modules in series

Each Module (6S 74P)

Total Cells 7104

Energy 85 KWh

Driving distance 500Km



- ☐ **Battery packing:** The battery pack in the Model S is flat and part of the frame that supports the car.
- ☐ The metal case provides structural support.
- ☐ The cell chemistry has the highest energy density on the market.

Bateria para veículos elétricos e híbridos



BESS “domésticos” para micro-GD conectados à rede



BESS grande porte conectados à rede



EDF 20 MW BESS (BYD America cells) at Illinois in USA



Kokam 56 MW Energy Storage at South Korean



LG Chem 10 MW BESS at Feldheim in Germany



AES Northern Ireland's 10 MW (of 100 MW) BESS

Sugestões para a consolidação da cadeia produtiva de LiB no Brasil

- Programa de ciência e tecnologia para capacitação acadêmica e de centros de pesquisa na cadeia produtiva de LiB, principalmente no desenvolvimento do BMS e Empacotamento
- Programa de pesquisa para fomentar o desenvolvimento nacional de novas tecnologias de baterias de lítio
- Parcerias com fabricantes conceituados no mercado mundial para transferência de tecnologia, instalação e suporte de plantas industriais para produção e evolução das células no Brasil
- Incentivo a pesquisa e desenvolvimento das células, baterias, etc.

Conclusões

- O crescimento exponencial da demanda de baterias de lítio-íon para uso em armazenamento de energia (grid) e veículo elétrico não será impactado por falta de matéria-prima
- Novas tecnologias estão em contínuo desenvolvimento
- O preço das baterias continuarão em queda
- O mundo é cada vez mais dependente de baterias, é caminho sem volta



Agradecimentos



DRC - Área de Sistemas de Energia





CPqD
Campinas - SP

www.cpqd.com.br

Obrigado!
Raul Fernando Beck
raul@cpqd.com.br