



NOVA

NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY



RECICLAGEM DE BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO (BIL)

UMA REALIDADE PARA PORTUGAL?

Graça Martinho, Pedro Santos, Joaquim Pina, Andrea Arguillarena e Ana Pires

25 DE NOVEMBRO 2021

ÂMBITO E OBJETIVOS

Planos de Prevenção e I&D para os anos 2018-2021 da GVB, Lda.

Projeto B (2018-2021):

- “**Estudo da necessidade de tecnologia recicladora de baterias recarregáveis de lítio**”. Este projeto incidirá sobre um estudo de projeção da venda de carros elétricos e híbridos em Portugal, assim como a construção de cenários que evidenciem a necessidade de criar, em Portugal, uma unidade de reciclagem ou o envio para fora de Portugal.
- **Objetivos da apresentação**
 - Características, funcionamento e composição das Baterias de Iões de Lítio (BIL)
 - Evolução global de veículos elétricos e BIL associadas
 - Reciclagem de BIL (pré-tratamento, processos físico/químicos, processos industriais)
 - Processo LithoRec
 - Evolução do consumo de veículos elétricos e híbridos
 - Inventariação dos custos de gestão das baterias usadas para os três cenários
 - Inventariação dos consumos e emissões resultantes da gestão das baterias nos três cenários
 - Análise Ciclo de Vida (ACV)
 - Análise Económica

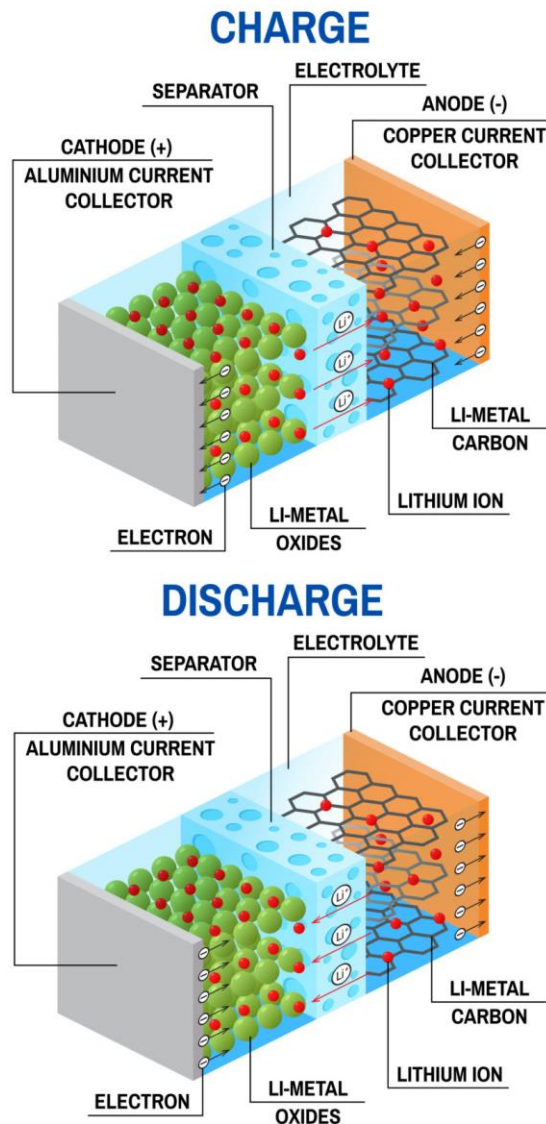
CARACTERÍSTICAS BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO

	Forças	Fraquezas
Chumbo - ácido	<ul style="list-style-type: none"> + Custo inicial relativamente baixo + Tecnologia madura + Elevado número de fabricantes globalmente + Dependência de materiais mais baratos e abundantes + Eficiência satisfatória (roundtrip efficiency) + Sem efeito de memória + Baixa taxa de autodescarga + Eficiência comprovada de esquemas de reciclagem 	<ul style="list-style-type: none"> - Energia e poder específicos modestos - Ciclo de vida curto - Elevados requisitos de operação e manutenção - Desempenho sensível à temperatura - Fiabilidade limitada - Tempo de carregamento longo - Problemas de segurança; Libertação de gás - Dependentes de um material tóxico (chumbo)
Li-ion	<ul style="list-style-type: none"> + Excelente energia e potência específicas + Ciclo de vida longo e número de ciclos de carregamento altos + Eficiência Alta (roundtrip efficiency) + Baixos requisitos de Operação e Manutenção + Faixas de temperatura de operação satisfatórias + Alta fiabilidade + Diversidade tecnológica; vários químicos + Esforços intensivos de I&D globais + Químicos com materiais ecológicos disponíveis + Taxa de autodescarga razoável + Recarga relativamente rápida 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto custo inicial - Necessário um sistema avançado de controlo da bateria - Preocupações de segurança; incidentes de fuga térmica - Preocupações com falta de material; lítio e cobalto - Atualmente fracos esquemas de recuperação e reciclagem

	Forças	Fraquezas
NiMH	<ul style="list-style-type: none"> + Custo inicial moderado + Energia e poder específicos satisfatórios + Eficiência satisfatória (roundtrip efficiency) + Baixos requisitos de Operação e Manutenção + Alta fiabilidade + Dependência de materiais ecológicos + Bom histórico de segurança + Faixas de temperatura de operação satisfatórias + Recarga relativamente rápida 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta taxa de autodescarga - Leve efeito de memória - Ciclo de vida relativamente curto - Atualmente fracos esquemas de recuperação e reciclagem
NiCd	<ul style="list-style-type: none"> + Custo inicial relativamente baixo + Ciclo de vida muito longo e número de ciclos de carregamento muito altos + Tecnologia madura + Alta fiabilidade + Baixos requisitos de Operação e Manutenção + Taxa de descarga automática razoável + Bom histórico de segurança + Amplas faixas de temperatura operacional + Recarga relativamente rápida 	<ul style="list-style-type: none"> - Modesta energia e poder específicos - Efeito de memória - Eficiência relativamente baixa (roundtrip efficiency) - Dependência de material perigoso (cádmio)

BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO - FUNCIONAMENTO

LITHIUM-ION BATTERY



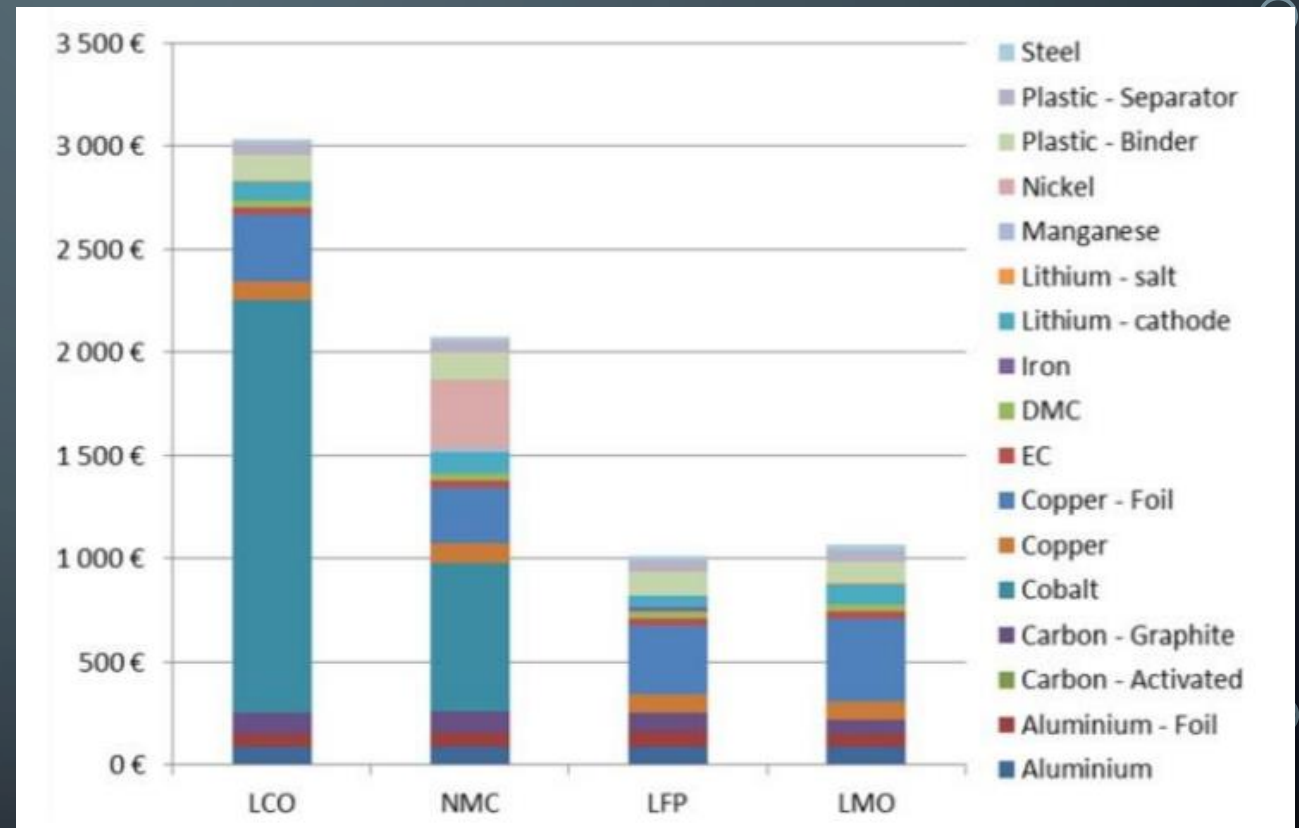
- 4 principais componentes:

- Cátodo (+) – Eléctrodo carregado positivamente, composto por óxido de metal de lítio, com combinações de cobalto, níquel, manganês, ferro e alumínio;
- Ânodo (-) – Eléctrodo carregado negativamente, geralmente feito de grafite;
- Eletrólito – Sal de lítio, na forma líquida ou em gel, que fornece a condução para o fluxo de iões;
- Separador – Componente que bloqueia o fluxo de eletrões negativos e positivos, mas permite a passagem de iões.

- Descarga (fornecimento de energia) – O ânodo liberta os iões de lítio para o cátodo, criando um fluxo de eletrões (do - para o +)
- Carga (carregamento) – Os iões de lítio são libertados pelo cátodo e recebidos pelo ânodo

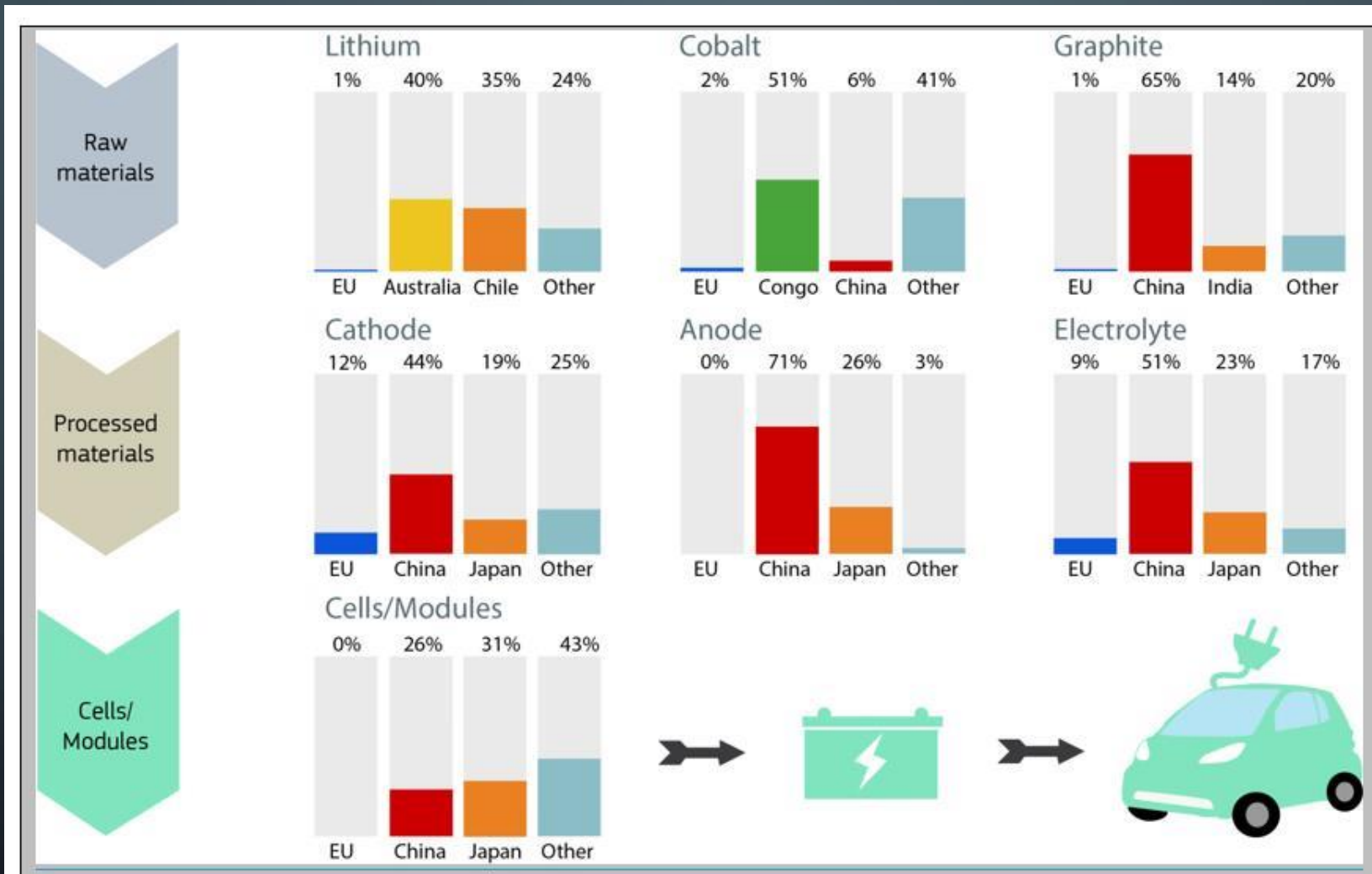
BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO - COMPOSIÇÃO

- Existe uma grande variedade de LIBs, com diferentes químicas, designs e características.
- O cobalto e o lítio são os materiais mais restritos, pois o cobalto tem um preço de mercado alto, e o lítio também está em alta no que diz respeito à produção de LIB.
- O níquel, apesar do seu preço de mercado mais baixo, tem uma importância na reciclagem devido aos seus impactos ambientais relacionados com a sua extração



LCO – Lithium Cobalt Oxide; **NMC** – Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxide; **LFP** – Lithium Iron Phosphate, **LMO** - Lithium Manganese Oxide

BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO – ORIGEM MATERIAIS

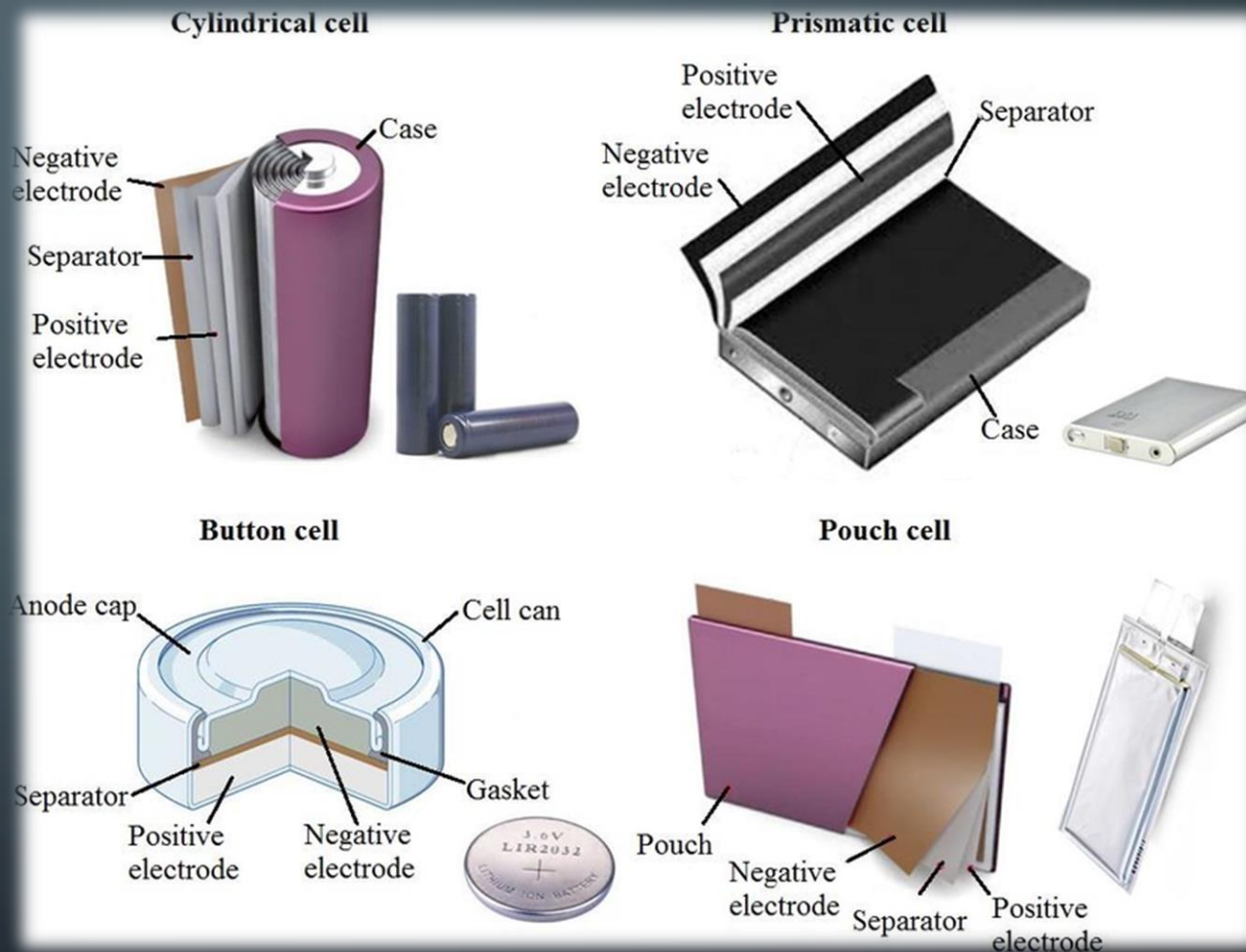


Fonte: [4]

BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO - TIPOS

- 4 principais formatos de baterias de lítio:

- Cilíndricas
- Prismáticas
- Bolsa
- Botão



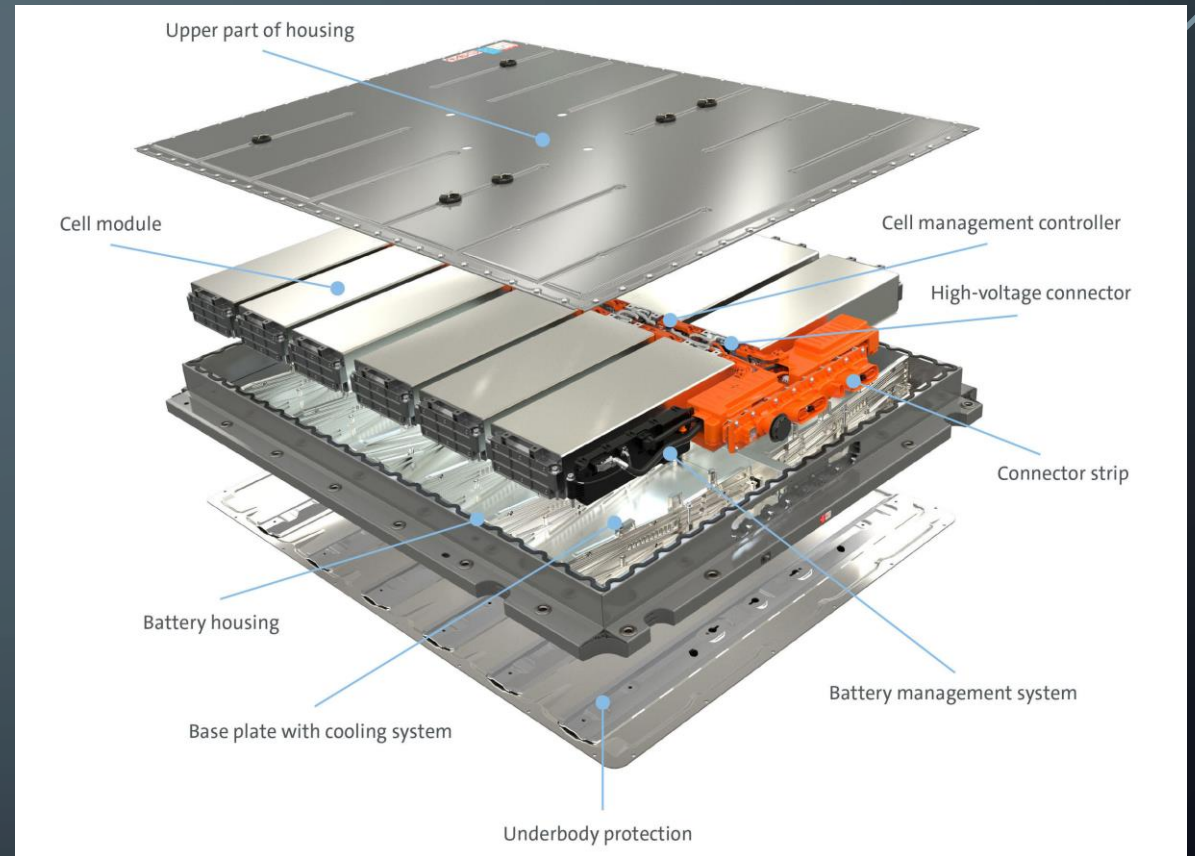
Fonte: [5]

BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO - EXEMPLOS



Fonte: [6]

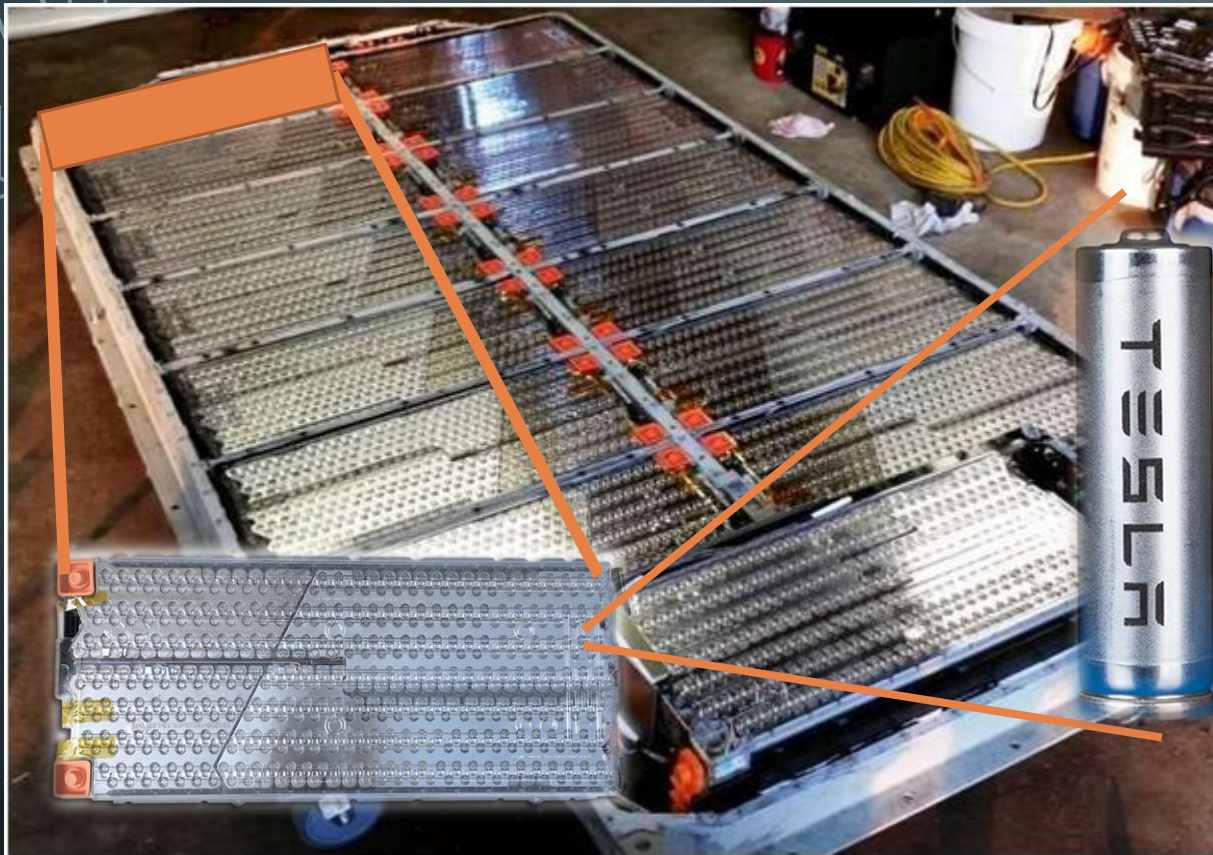
Tesla Model S battery pack
Formato cilíndrico



Fonte: [7]

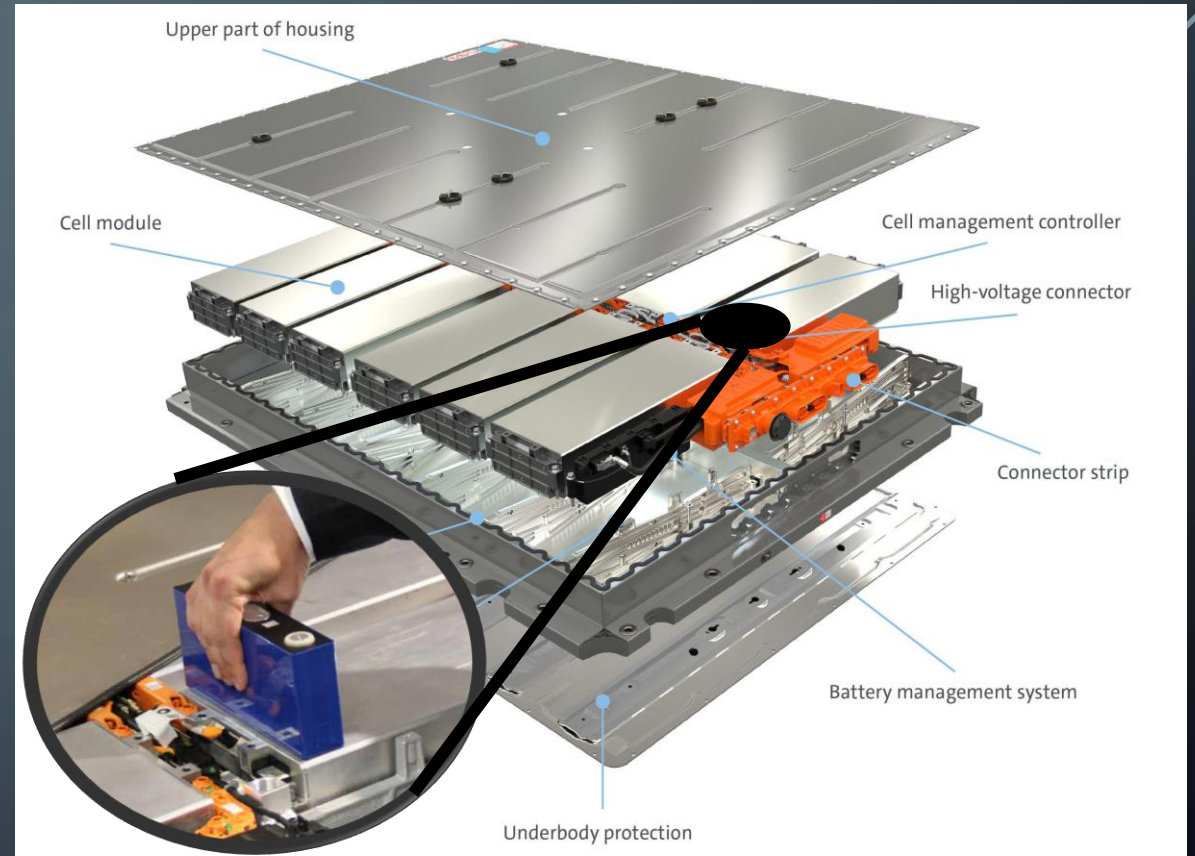
VW ID.3 battery pack
Formato prismático

BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO - EXEMPLOS



Fonte: adaptado de [6], [8], [9]

Tesla Model S battery pack –
Formato cilíndrico



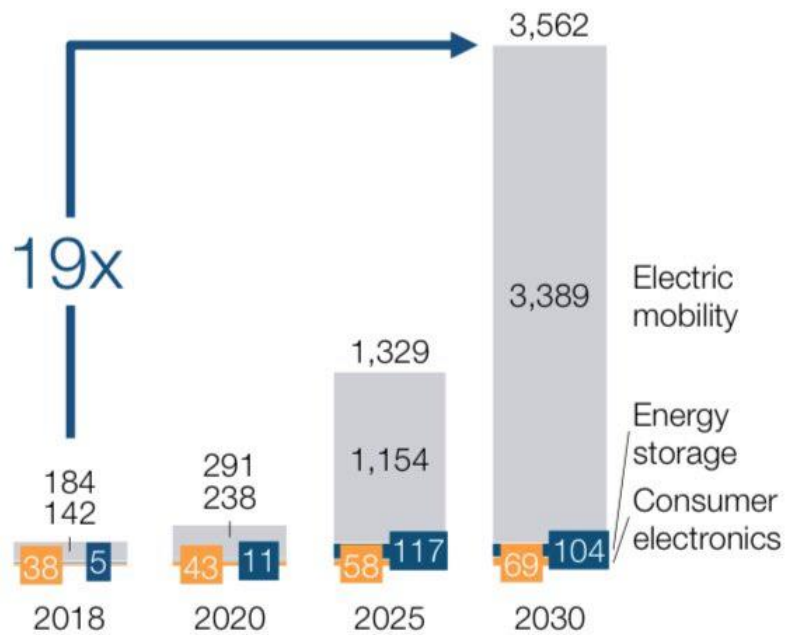
Fonte: adaptado de [7], [10]

VW ID.3 battery pack –
Formato prismático

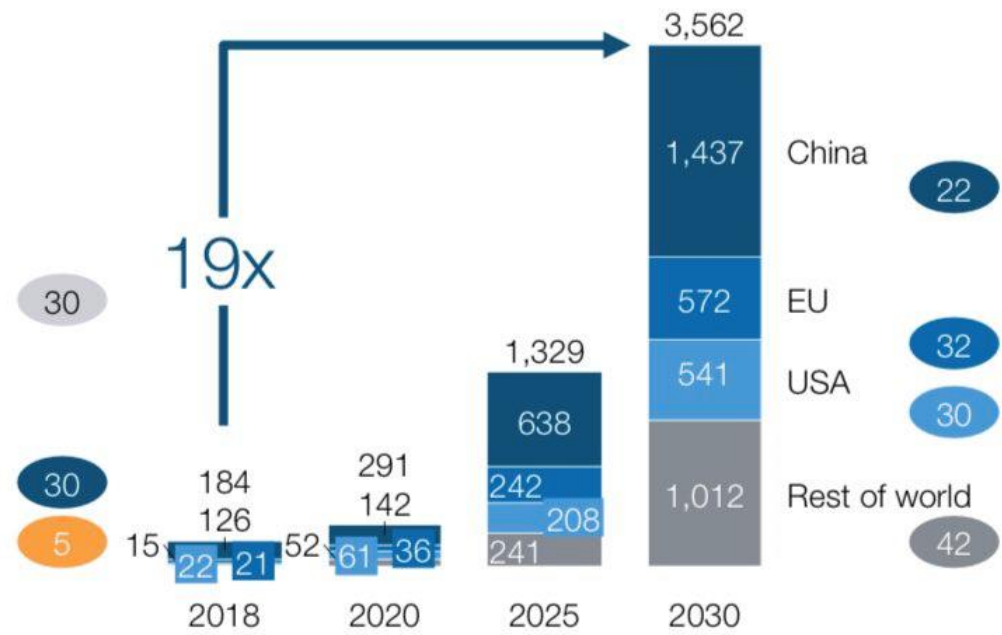
EVOLUÇÃO GLOBAL DE BATERIAS

Compared to today, global battery demand is expected to grow by a factor of ~19 to reach ~3,600 GWh in a 2030 target case

Global battery demand by application
GWh in 2030, target case

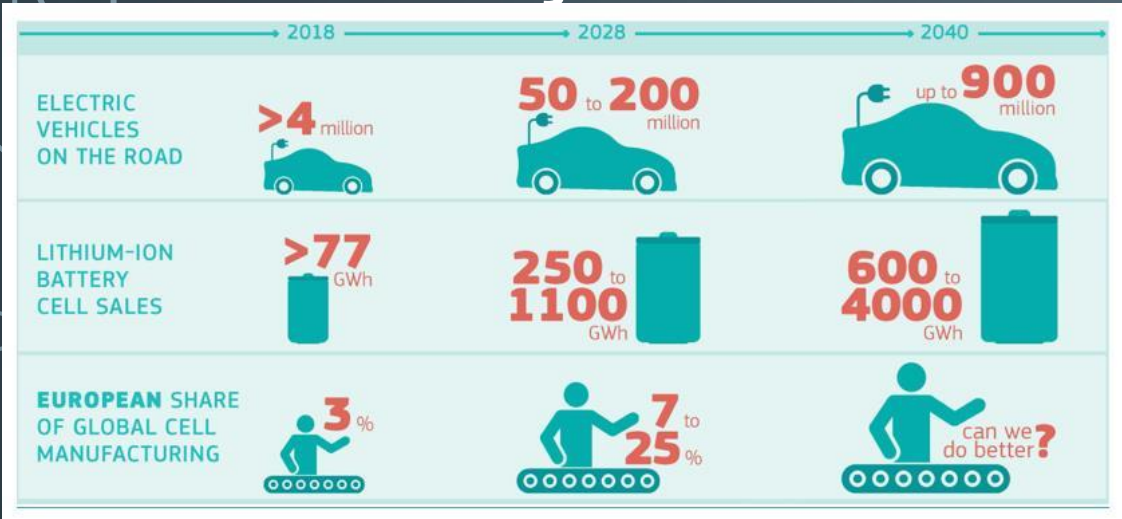


CAGR % p.a. Global battery demand by region
GWh in 2030, target case

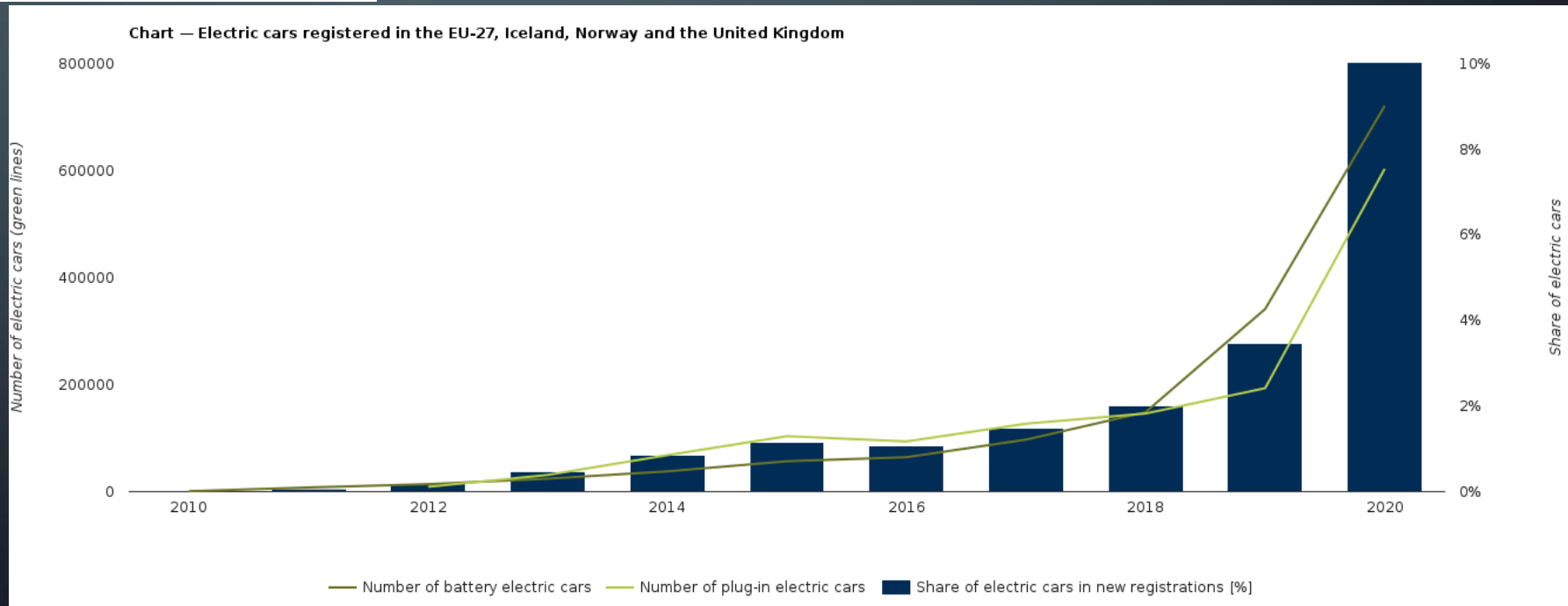


Fonte: [11]

EVOLUÇÃO GLOBAL DE BATERIAS

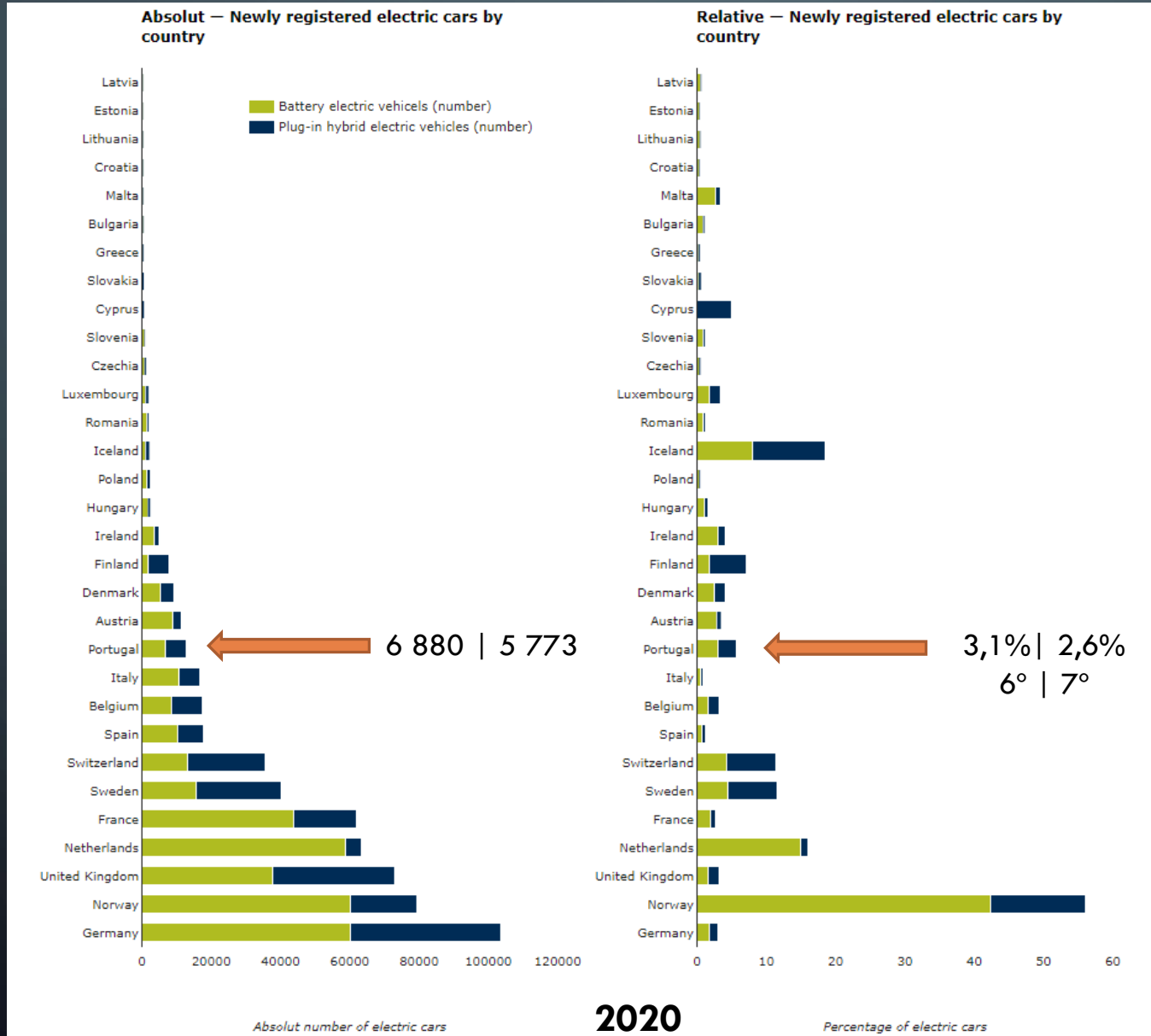


Fonte: [4]



Fonte: [12]

EVOLUÇÃO GLOBAL DE BATERIAS



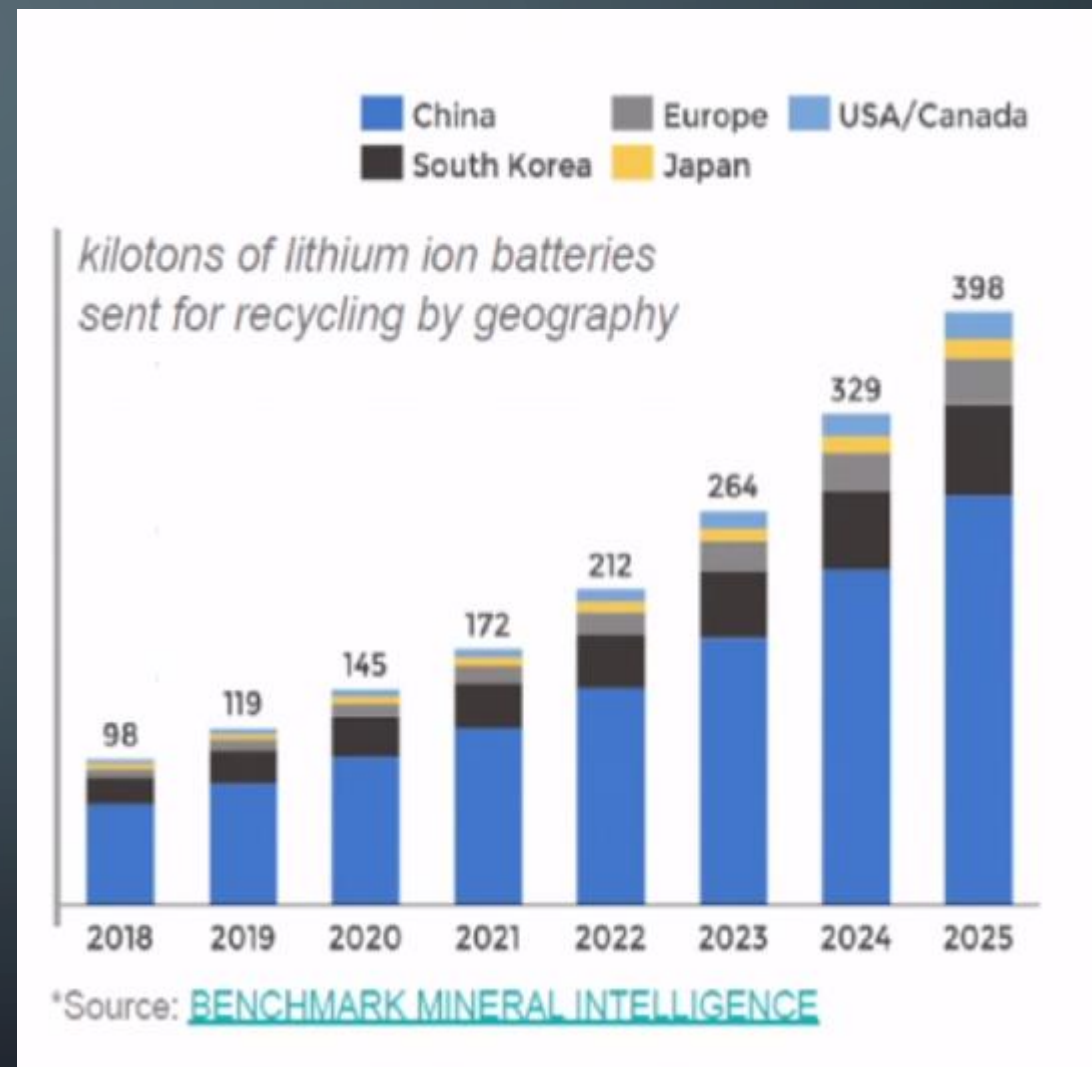
Fonte: [13]

RECICLAGEM DE BATERIAS



Central de reciclagem da Li-Cycle's, EUA

Fonte: [14]



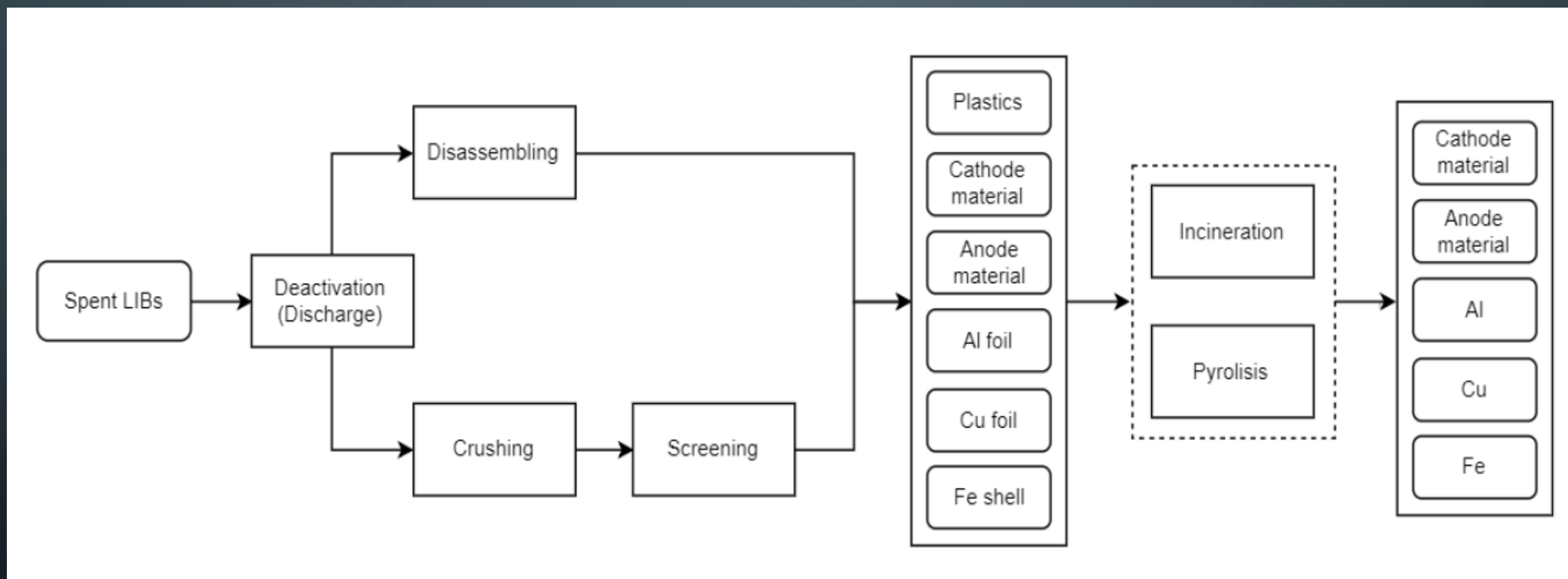
Fonte: [15]

RECICLAGEM DE BATERIAS –PRÉ-TRATAMENTO

- Processos físicos para tratar os invólucros externos e “cascas”, para depois concentrar a fração metálica, para tratamento metalúrgico posterior;
- Objetivo principal – libertar e separar os materiais para que as etapas de processamento subsequentes sejam mais viáveis, do ponto de vista económico, ambiental e tecnológico;
- Pré-tratamento necessário para reduzir o risco de explosão durante o processo de reciclagem (o sistema deve ser totalmente descarregado, por curto-circuito. Ex: pré-tratamento térmico, aquecendo as baterias até temperaturas máximas em torno de 300°C, fazendo com que os solventes evaporem; ou, descarga por imersão em solução de sal);
- Principais desafios –
 - diferentes designs e conexões nos invólucros das baterias dos veículos elétricos, com diferentes formas e tamanhos de módulos de bateria, e diferentes sistemas de gestão de bateria;
 - Risco de libertação de gases nocivos e substâncias tóxicas durante a dissolução da bateria;
 - Dificuldade de automatização do processo de desmontagem;

RECICLAGEM DE BATERIAS –PRÉ-TRATAMENTO

- Os componentes são separados por: desmantelamento, trituração, peneiramento e classificação de tipo de bateria;



Fluxograma do pré-tratamento

Fonte: [16]

RECICLAGEM DE BATERIAS –PRÉ-TRATAMENTO

- Diferentes processos de pré-tratamento em desenvolvimento

Recycling Process	Advantages	Reference
One-step crushing and ultrasonic washing, followed by acid leaching	Recovery of up to 99% of Li and Co	Li <i>et al.</i> (2009)
Grinding and sieving, followed by spouted bed elutriation	Easy alternative to separate materials to directly commercialize	Bertuol <i>et al.</i> (2015)
Two stages of crushing and sieving, followed by acid leaching	Full recovery of the metals by efficient separation of the metal-bearing particles	Shin <i>et al.</i> (2005)
Two-phase thermal treatment with high-speed shredding, followed by a leaching process	Recovery of up to 99% of Li and Co, with a great reduction in cost	Lee & Rhee (2002)
Cathode material separated by shredding, followed by thermal treatment	Synthetization of a high purity microcrystalline Li and Co ferrite composite	Bahgat's <i>et al.</i> (2007)
Mechanochemical reduction with iron powders, followed by acid leaching	Recovery of up to 99% of Li, Co, Mn and Ni	Guan <i>et al.</i> (2017)
Electrolyte washing with ethanol followed by distillation in glassware reactor	Successful synthesis of Li ₂ SiF ₂ for immediate demand	Bankol <i>et al.</i> (2013)
Discharging and shredding, followed by metallurgical methods	Less energy intensive process and uncomplicated when recycling large streams of batteries	Sonoc <i>et al.</i> (2015)
Discharge and disassembly, followed by supercritical CO ₂ treatment	Direct cathode extraction, being able to be reused in new batteries	Huang <i>et al.</i> (2018)

Fonte: [17]

RECICLAGEM DE BATERIAS – PROCESSOS FÍSICO/QUÍMICOS

- Classificados em:
 - Processos Pirometalúrgicos – Processos físicos, usados principalmente por empresas de reciclagem para a recuperação de Cobalto, Níquel e Cobre, numa liga concentrada de alta eficiência – pode aceitar diferentes tipos de baterias (com químicas diferentes). Não recupera Lítio;
 - Ex: Grupo Umicore – etapa de desmantelamento simples, seguido de alimentação a um forno com três zonas de temperatura: zona de pré-aquecimento, zona de pirólise de plásticos e fundição, e zona de redução. Processo apenas recupera Cobre, Cobalto, Níquel e uma parte de ferro;
 - Processos Hidrometalúrgicos - Processos químicos de recuperação de metais, tais como lixiviação ácida, biolixiviação, precipitação química, dissolução por NMP (N-Methyl-2-pyrrolidone) e deposição eletromagnética;
- Processos de Lixiviação, separação, extração e precipitação eletroquímica;
- Possível conjugar os dois processos – Hidrometalúrgico seguido de Pirometalúrgico

RECICLAGEM DE BATERIAS – PROCESSOS FÍSICO/QUÍMICOS

- Diferentes processos em desenvolvimento

Recycling Process	Advantages	Reference
Acid leaching with NH₄OH, followed by H₂SO₄ and H₂O₂	Recovery of 98.8% of Li, Co, Al, Mn and Ni	Nayl <i>et al.</i> (2017)
Combination of oxalic acid leaching and filtering	With the right conditions, a recovery of 98% of Li and Co was possible	Zeng <i>et al.</i> (2015)
Organic acids produced by <i>Aspergillus niger</i> to dissolve spent LIBs	Reduced environmental impacts and costs with 100% recovery of Li, and 64% of Co	Bahaloo-Horeh & Mousavi (2017)
Classification, trituration and sieving, followed by selective separation of active materials	Cobalt recovered as cobalt hydroxide	Ou <i>et al.</i> (year)
Thermal treatment followed by electrochemical deposition	Very pure cobalt compound obtained, with no impurities	Myoung <i>et al.</i> (2002)

Fonte: [17]

RECICLAGEM DE BATERIAS – PROCESSOS INDUSTRIAIS

- Consistem em métodos, muitas vezes criados por empresas, que foram testados e atualmente são aplicadas à escala industrial, globalmente.
- A análise efetuada teve em consideração processos conhecidos por possuírem uma grande capacidade anual e alta eficiência de reciclagem, cumprindo a diretiva das baterias da UE.

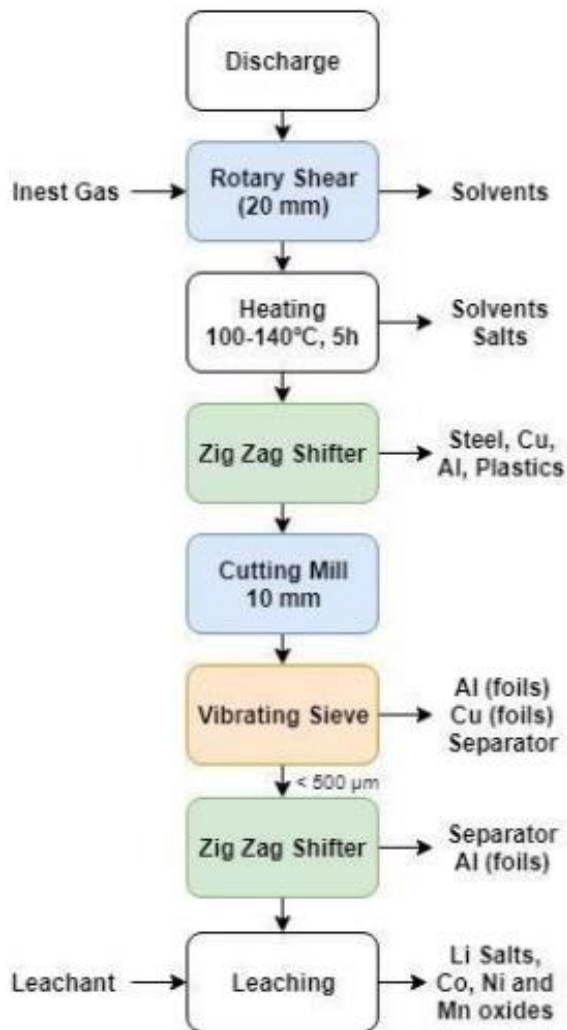
Process	Country	Capacity (t/y)	End products	Reference
Umicore (VAL'EAS)	Belgium	7000	CoCl ₂	Saloojee & Lloyd (2015)
Retriev Technologies	Canada/U.S.A.	3500	Li ₂ CO ₃	Valio (2017)
Sony-Sumitomo	Japan	150	CoO	Sonoc <i>et al.</i> (2015)
ReCupyl (Valibat)	France	110	Co(OH) ₂ Co	Heelan <i>et al.</i> (2016)
Accurec	Germany	4000	Co-alloy Li ₂ CO ₃	Heelan <i>et al.</i> (2016)
SNAM	France	300	Co and Ni alloys	Saloojee & Lloyd (2015)
OnTo Technology (Eco-Bat)	U.S.A.	-	Cathode material Li ₂ CO ₃	Valio (2017)
LithoRec	Germany	1200	Li salts Co, Ni and Mn oxides	Valio (2017)
Gratz	U.S.A.	-	Li ₂ CO ₃ NMC(OH) ₂	Gratz <i>et al.</i> (2015)

Fonte: [17]

CASO PORTUGUÊS - PROCESSO LITHOREC

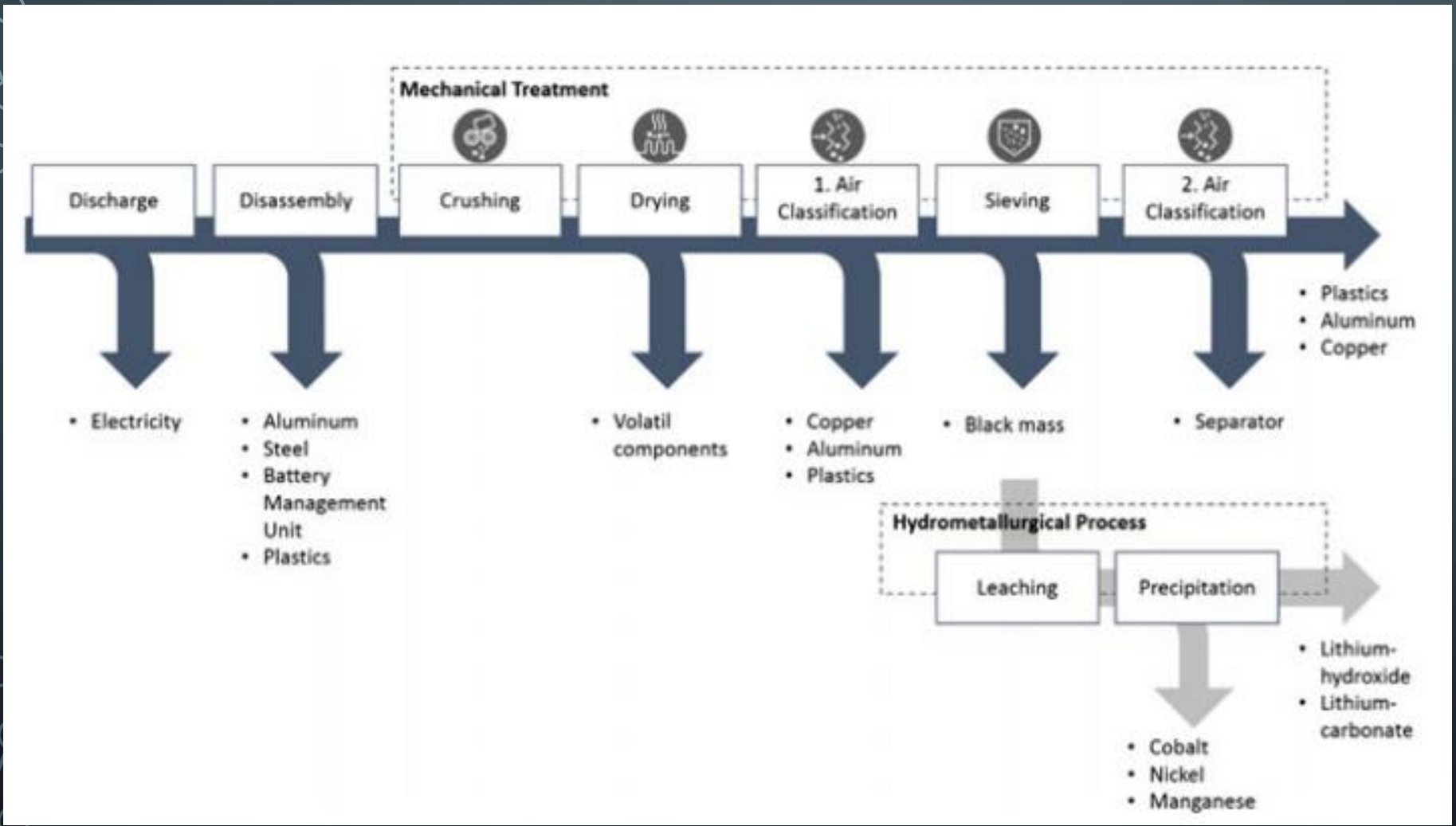
- Dissertação FCT NOVA – “Critical Review of the Lithium-Ion Battery Recycling Technologies” João Matos, 2019
- O objetivo da dissertação foi investigar os diferentes processos de reciclagem de baterias de lítio em fim-de-vida, e perceber quais os fatores que influenciam a escolha e implementação de uma unidade de reciclagem
- Aplicando três métodos de análise multicritério - WSA, TOPSIS e ELECTRE III, a tecnologia de reciclagem de lítio que se mostrou mais favorável para Portugal é a tecnologia LithoRec
- Os resultados forneceram um hierarquização das opções, onde o processo LithoRec, implementado na Alemanha, foi escolhido como a alternativa mais favorável.

PROCESSO LITHOREC



- As células da bateria são descarregadas e desmontadas, seguindo-se uma etapa de trituração em atmosfera inerte. Neste ponto, parte dos solventes eletrolíticos são libertados, facilitando a posterior separação dos fragmentos devido à menor adesão. É necessária uma etapa de tratamento com filtros de carvão ativado, devido à libertação de gases nocivos.
- A segunda fase de classificação passa por retirar as peças pesadas, como invólucros, peças de aço e plásticos. A separação no deslocador zig zag (por tamanho e densidade), tem como desvantagem o desperdício de cerca 3% do material ativo do eletrodo, junto com Al e Cu, pois são perdidos com as frações pesadas.
- O rendimento da “massa negra” (mistura de ânodo e cátodo) pode ser melhorado ao se enviar novamente pela etapa de trituração. A segunda etapa de britagem também evita o aumento de impurezas de Al, Cu e Fe na fração final. Após a fase de pré-tratamento, o material do eletrodo, já separado da lâmina e do separador, pode ser encaminhado para tratamento hidrometalúrgico.
- A fase hidrometalúrgica recebe a fração fina e remove o grafite sólido da solução, deixando o Co, Ni e Mn precipitarem como óxidos. A solução restante, contendo Li, é purificada por cristalização e troca iónica, separando os sais de Li por processos eletroquímicos. Novos materiais ativos podem ser produzidos a partir de sais de Li, hidróxidos ou carbonatos e partículas de óxido de Co, Ni e Mn.
- Eficiência máxima atual: 75-80% (Grafite, separador, e os componentes do eletrólito ainda não são reciclados).

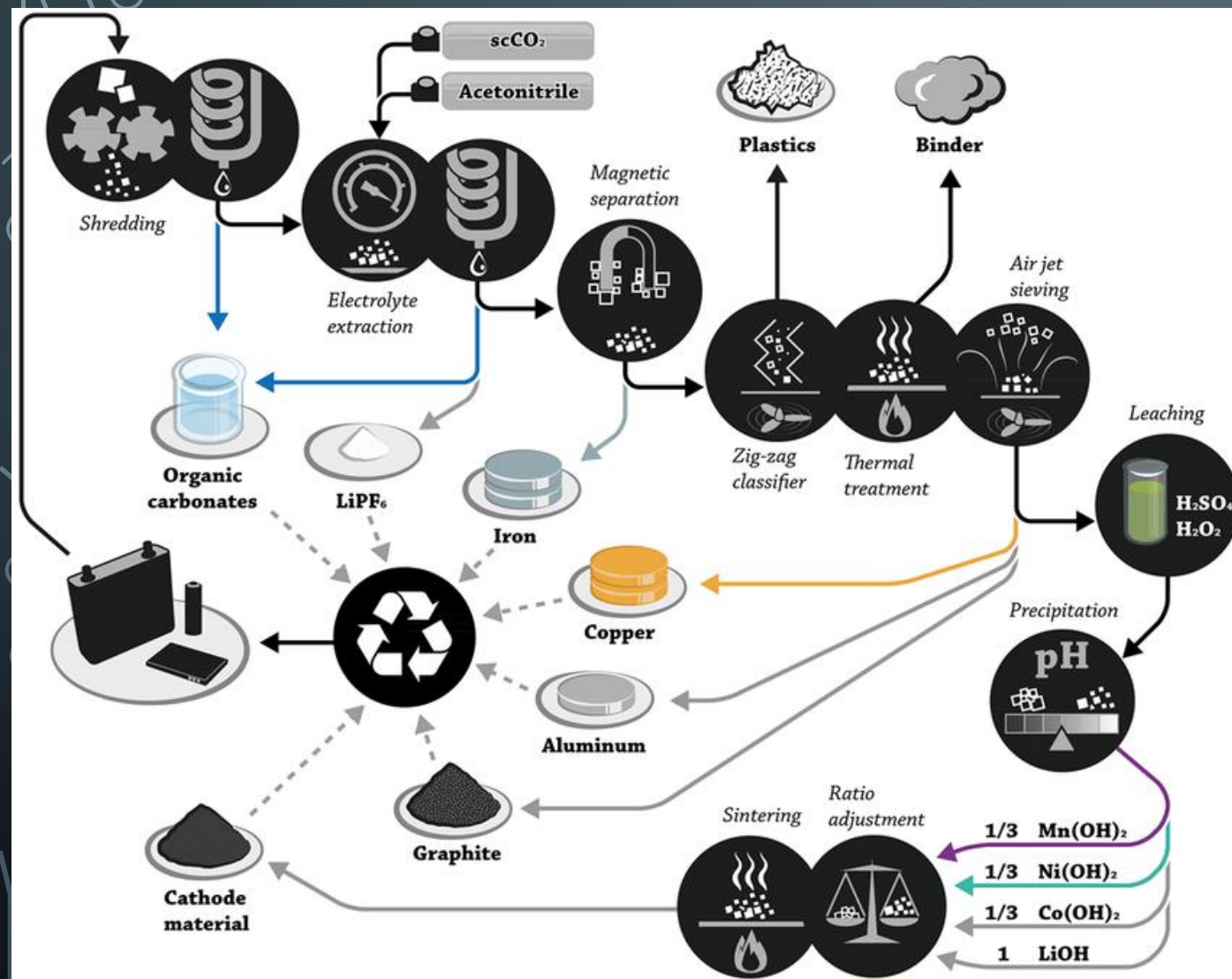
PROCESSO LITHOREC



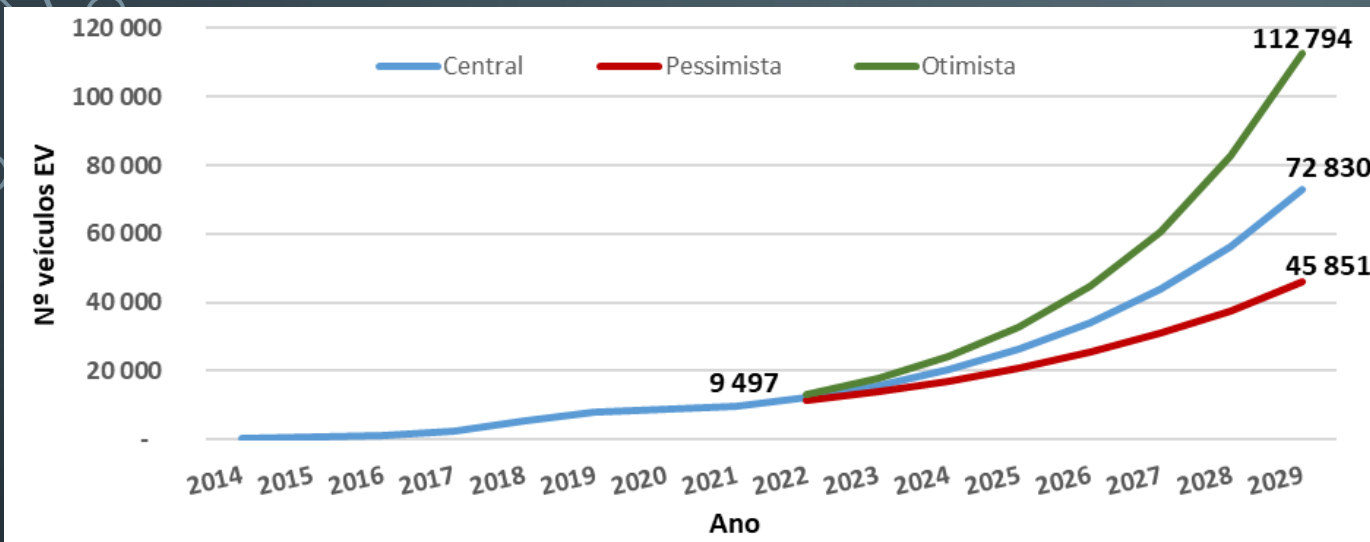
Fonte: [19]

PROCESSO LITHOREC II

- O processo LithoRec é um dos principais processos aplicados em escala industrial.
- Simultaneamente, o processo está em melhoramento contínuo. Mais recentemente, no processo LithoRec II, a extração eletrolítica e a reciclagem do ânodo gráfico foram estudadas a fim de aumentar os produtos finais e a eficiência do processo (eficiência de 75-80%).



EVOLUÇÃO DO CONSUMO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS EM PORTUGAL



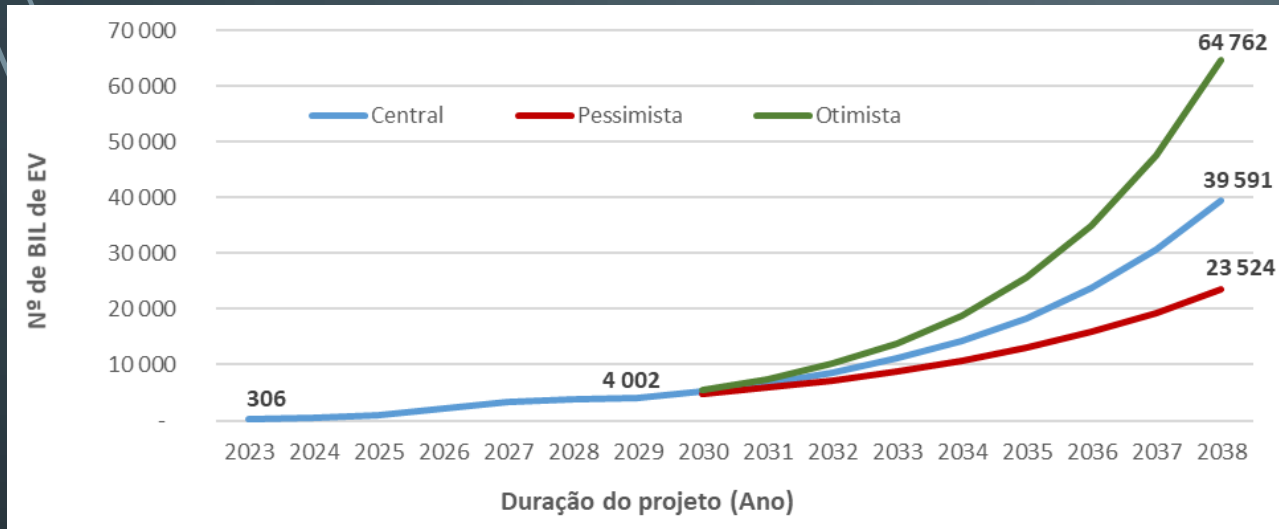
- Horizonte temporal: 16 anos (2014-2029)
- Dados para veículos elétricos e veículos híbridos plug-in
- Cenário único até 2021 - últimos dados disponíveis - dados INE (2021) [21] referentes aos EV e PHEV de passageiros para 2014-2020, e assumindo para 2021 uma taxa de crescimento de 7,8% para EV e 6,8% para PHEV da ACAP (2021) [22]
- Valores anuais (não acumulados)

- A partir de 2021, assumiu-se três cenários distintos:

- Cenário central (BAU)
 - cenário pessimista (-25%)
 - cenário otimista (+25%)
- Cenário central (BAU) — estimado usando a taxa de crescimento de um estudo da Deloitte no mercado de veículos elétricos (Deloitte, 2020) [23]

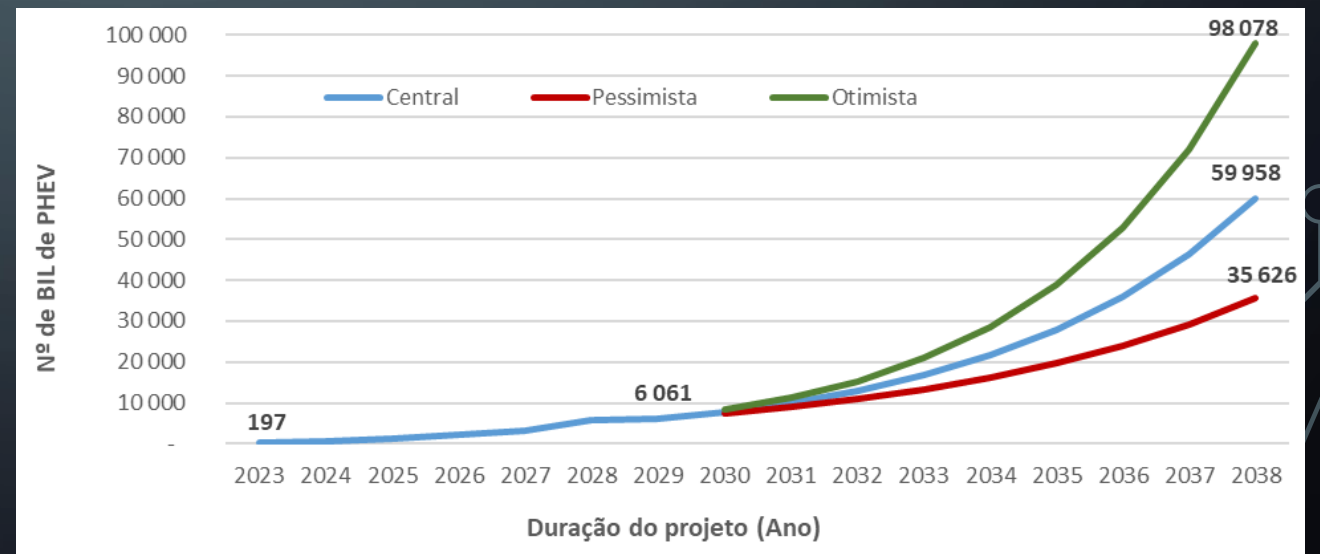


EVOLUÇÃO DA QUANTIDADE DE BATERIAS GASTAS

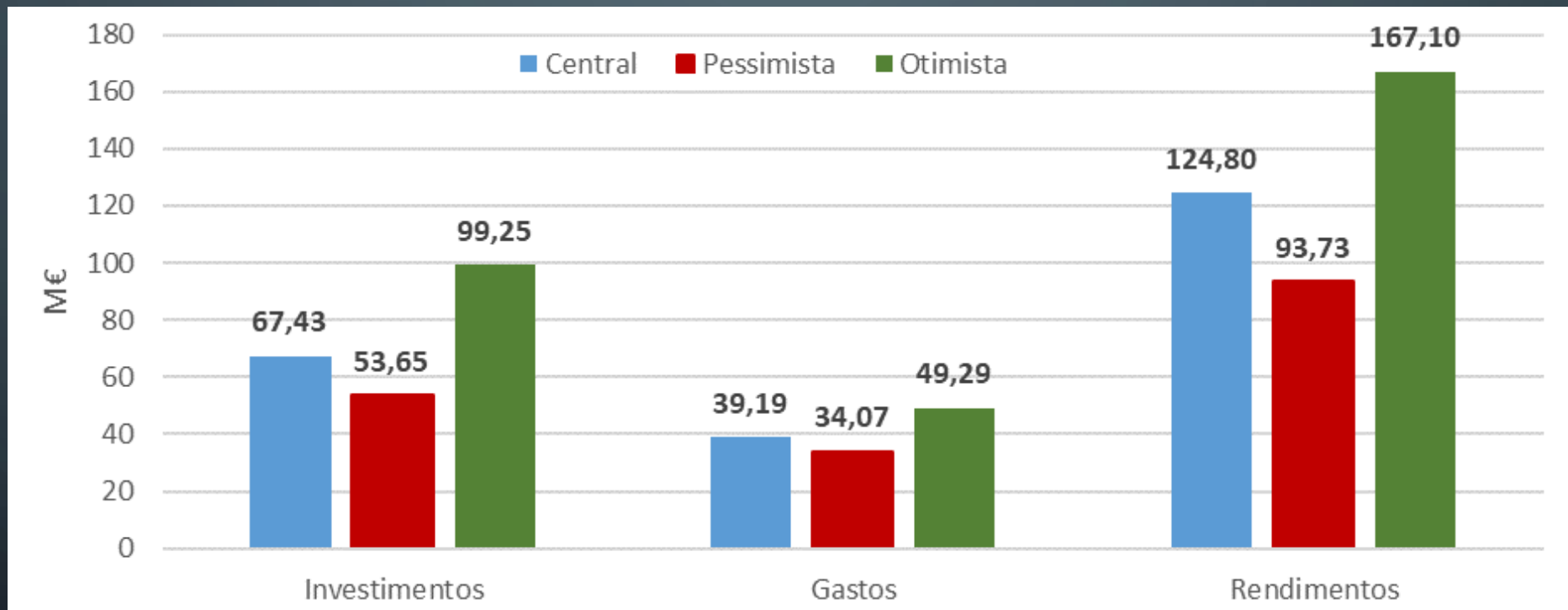


- Disponibilidade do mercado: 98%
- Share de mercado GVB: 43%
- Duração bateria: 8 anos

- Dados para veículos elétricos e veículos híbridos plug-in
- Valores anuais (não acumulados)



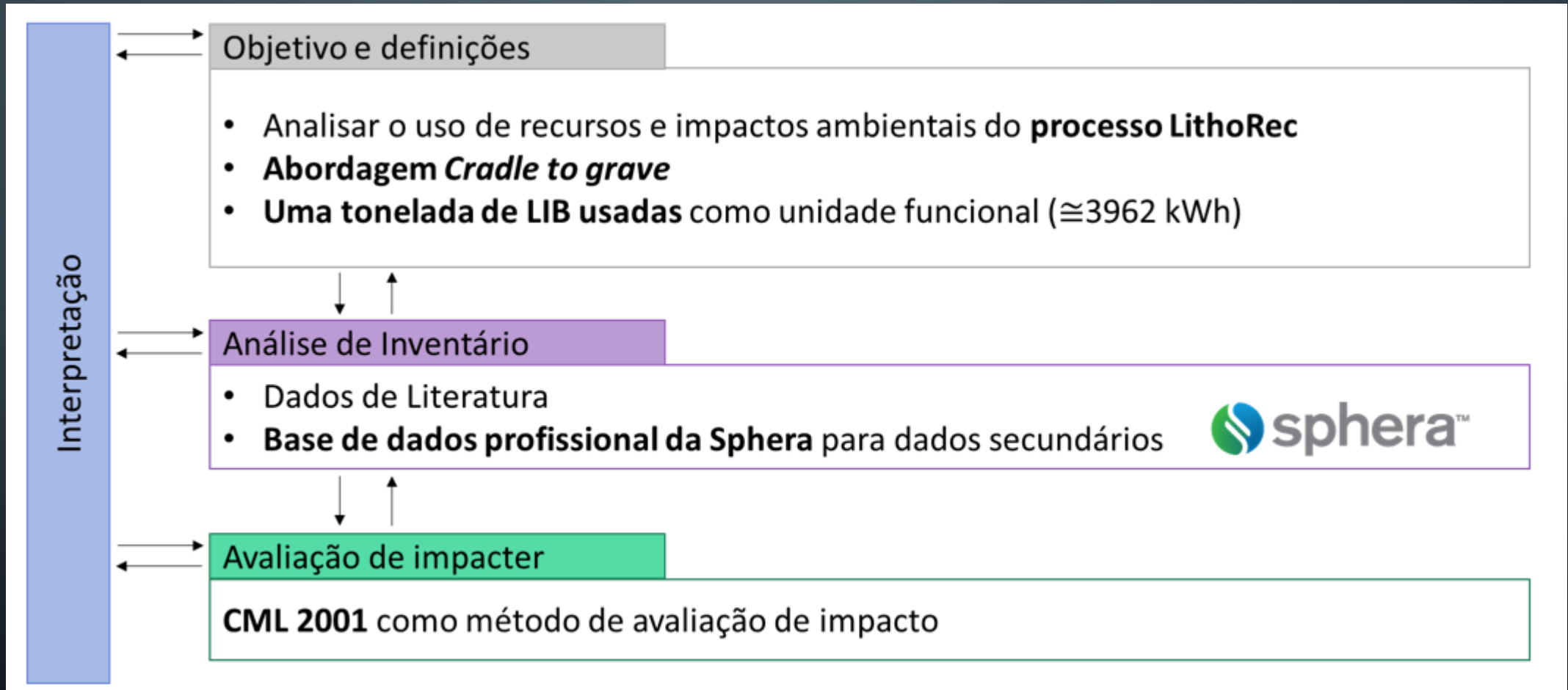
INVENTARIAÇÃO DOS CUSTOS DE GESTÃO DAS BATERIAS USADAS PARA OS TRÊS CENÁRIOS



INVENTARIAÇÃO DOS CONSUMOS E EMISSÕES RESULTANTES DA GESTÃO DAS BATERIAS NOS TRÊS CENÁRIOS

Inputs	Valores	Unidades	Valores	Unidades
LIBs	349,0	kg	1,000	kg/FU
Energy (deactivation)	46,8	MJ	0,134	MJ/FU
Energy (pre-treatment)	209,9	MJ	0,601	MJ/FU
H2SO4	81,9	kg	0,235	kg/FU
H2O2	18,1	kg	0,052	kg/FU
NaOH	66,8	kg	0,191	kg/FU
Outputs	Valores	Unidades	Valores	Unidades
Mass stream	120,0	kg	0,344	kg/FU
Volatile components	29,9	kg	0,086	kg/FU
Plastics, Al, Cu (after 1st classification)	17,9	kg	0,051	kg/FU
Separator (after 2nd classification)		kg		kg/FU
Graphite	29,6	kg	0,085	kg/FU
NiSO4	28,7	kg	0,082	kg/FU
CoSO4	28,7	kg	0,082	kg/FU
MnSO4	28,0	kg	0,080	kg/FU
H2O	15,0	kg	0,043	kg/FU
O2	4,5	kg	0,013	kg/FU
Li2SO4	30,6	kg	0,088	kg/FU
LiOH	13,3	kg	0,038	kg/FU
Ni(OH)2	17,2	kg	0,049	kg/FU
Co(OH)2	17,2	kg	0,049	kg/FU
Mn(OH)2	16,5	kg	0,047	kg/FU
Na2SO4	118,6	kg	0,340	kg/FU

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)



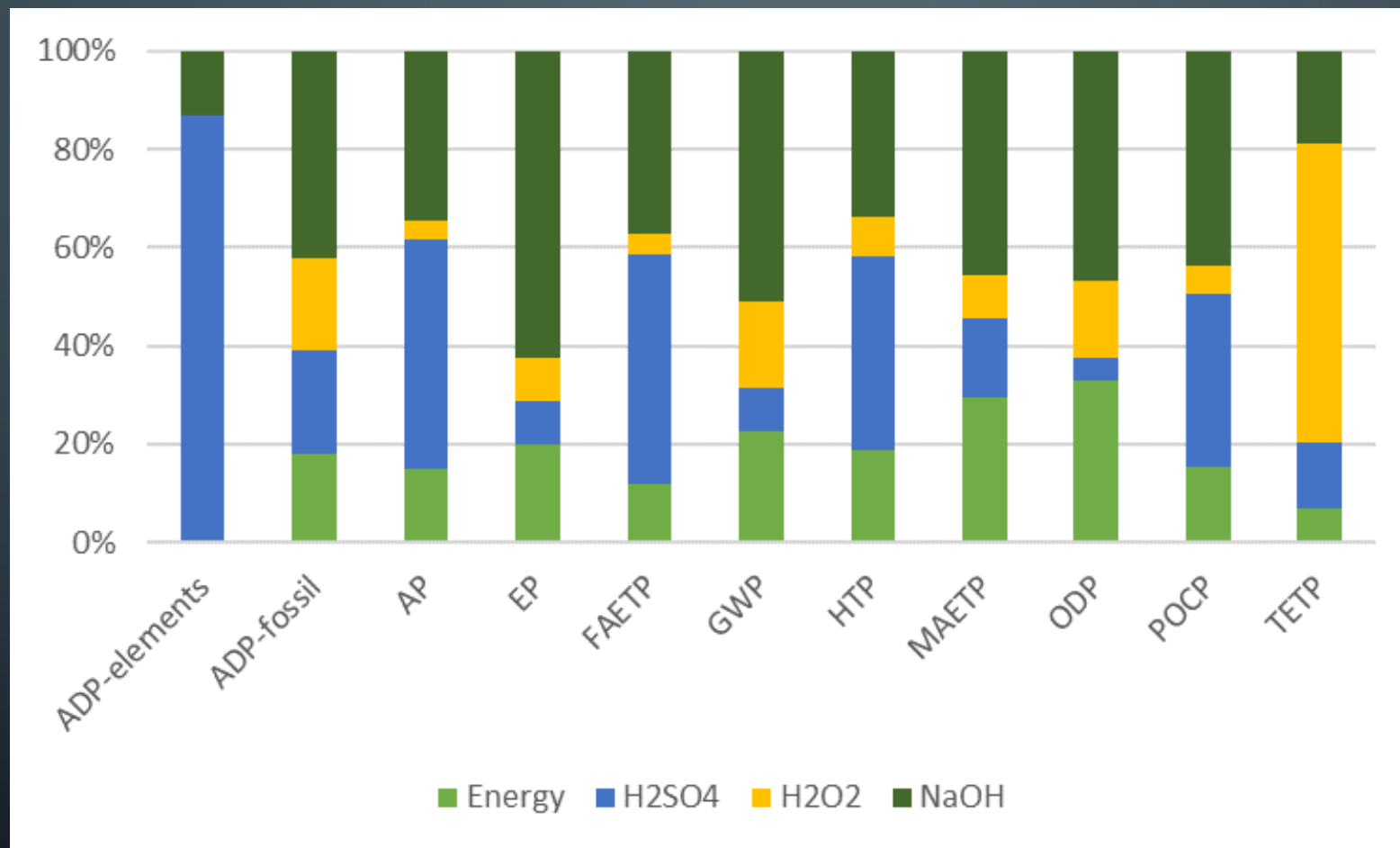
Metodologia da ACV

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

Categorias de impacto (software GaBi 9,2 e método CML 2001):

- Abiotic Depletion of elements (ADP-elements) – Esgotamento Abiótico de elementos [kg Sb eq.];
- Abiotic Depletion of Fossil Fuels (ADP-fossil) – Esgotamento Abiótico de combustíveis fósseis [MJ];
- Acidification Potential (AP) – Potencial de Acidificação [kg SO₂ eq.];
- Eutrophication Potential (EP) – Potencial de Eutrofização [kg PO₄³⁻ eq.];
- Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential (FAETP) – Potencial de Ecotoxicidade aquática de água doce [kg DCB eq.];
- Global Warming Potential (GWP) – Potencial de Aquecimento Global [kg CO₂ eq.];
- Human Toxicity Potential (HTP) – Potencial de Toxicidade Humana [kg DCB eq.];
- Marine Aquatic Ecotoxicity Potential (MAETP) – Potencial de Ecotoxicidade aquática marinha [kg DCB eq.];
- Ozone Layer Depletion Potential (ODP) – Potencial de destruição da camada de ozônio [kg R11 eq.];
- Photochemical Ozone Creation Potential (POCP) – Potencial de criação de ozônio fotoquímico [kg ethene eq.];
- Terrestrial Ecotoxicity Potential (TETP) – Potencial de Ecotoxicidade terrestre [kg DCB eq.].

ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)



ANÁLISE ECONÓMICA (VIABILIDADE ECONÓMICA DA RECICLAGEM DE BIL EM PORTUGAL)

- A avaliação através de critérios financeiros: **VAL (Valor Atualizado Líquido)** e a **TIR (Taxa Interna de Rentabilidade)**
 - VAL, corresponde à soma descontada, à taxa i , dos fluxos Inv (*investimentos*) e FC (*fluxo de caixa*) durante N anos e do VR (*valor residual*). Quando o VAL é positivo, devemos concluir pelo avanço do projeto, pois é rentável.

$$VAL = -\sum_{t=1}^N \frac{Inv_t}{(1+i)^t} + \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+i)^t} + \frac{VR_N}{(1+i)^N}$$

$$FC_t = Rendimentos_t - Gastos_t$$

- TIR, é a taxa de desconto que corresponde a $VAL = 0$, ou seja, o custo do capital (e/ou custo de oportunidade máximo) que permite não obter prejuízo com o projeto. Esta taxa, TIR, deve, pois, ser superior ao custo do capital, i , efetivamente defrontado pela empresa no financiamento para que o projeto seja rentável.

$$0 = -\sum_{t=1}^N \frac{Inv_t}{(1+TIR)^t} + \sum_{t=1}^N \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} + \frac{VR_N}{(1+TIR)^N}$$

ANÁLISE ECONÓMICA (VIABILIDADE ECONÓMICA DA RECICLAGEM DE BIL EM PORTUGAL)

	Pessimista	Central	Otimista
VAL (M€)	9,2	22,2	36,8
TIR (%)	8,3	12,3	15,2

Seja qual for o cenário (Pessimista, BAU, Otimista)

- VAL (Valor Atualizado Líquido) é sempre positivo (mínimo 9 milhões de euros). O projeto parece ser viável.
- No cenário Pessimista, o valor da TIR (Taxa Interna de Rentabilidade) de 8,3% poderá deixar um alerta sobre a inviabilidade económica do projeto caso o custo do capital possa vir a ser relativamente elevado.
- Se no limite se tomar o valor de 17,5% como taxa de custo do capital (*taxa de atualização apontada nos Anexos do Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050 para os setores residencial e transporte individual de passageiros*) então seja qual for o cenário considerado o projeto não deverá ser realizado.
- Dada a dificuldade de obtenção de valores, a incerteza no horizonte temporal, a modelizar para componentes técnicas e custo unitários e preços no contexto de grande incerteza macroeconómica e microeconómica, aconselha uma leitura “conservadora” dos resultados do VAL e TIR obtidos.

CONCLUSÕES

- As estimativas de vendas de EV e PHEV indicam que estes deverão aumentar quase que exponencialmente.
- Relativamente a Portugal, e considerando os 3 cenários aplicados neste estudo, verifica-se que estes deverão passar de 23 880 EV+PHEV adquiridos em 2021, para: (em 2029)
 - 115 289 EV+PHEV cenário pessimista,
 - 183 127 EV+PHEV considerando o cenário central, e
 - 283 614 EV+PHEV considerando o cenário otimista.
- Em termos de número de BIL disponíveis para reciclagem, considerou-se uma vida útil de 8 anos, 43% *share* de mercado e 98% taxa de captação. Com isto estimou-se que este número passaria de 197 BIL anuais em 2023, para 6 061 BIL anuais em 2029 e, 35 626 BIL anuais no cenário pessimista, 59 958 BIL anuais no cenário central, e 98 078 BIL anuais no cenário otimista, para 2038.
- Tendo por base uma extensa pesquisa sobre as tecnologias de reciclagem existentes para as baterias de iões de lítio, e face à informação disponível sobre os processos envolvidos, optou-se por seleccionar a tecnologia LithoRec como a mais indicada para Portugal, tecnologia sobre a qual se fez a análise económica e ambiental.

CONCLUSÕES

- Na análise económica, chegou-se aos valores de VAL de 9,2 milhões de euros para o cenário pessimista, 22,2 milhões de euros para o cenário central e 36,8 milhões de euros para o cenário otimista; e TIR de 8,3% para o cenário pessimista, 12,3% para o cenário central e 15,2% para o cenário otimista. Estes valores indicam que, qualquer que seja o cenário, o projeto parece ser viável.
- No entanto, em particular no cenário pessimista, o valor da TIR de 8,3% poderá indicar um alerta sobre a inviabilidade económica do projeto caso o custo do capital possa vir a ser relativamente elevado. Se no limite se tomar o valor de 17,5% como taxa de custo do capital (*taxa de atualização apontada nos Anexos do Roteiro Nacional de Baixo Carbono para os setores residencial e transporte individual de passageiros*) então seja qual for o cenário considerado o projeto não deverá ser realizado. Aconselha-se assim uma leitura “conservadora” dos resultados do VAL e TIR obtidos.
- Sobre a Análise Ciclo de Vida, os impactos do processo LithoRec são essencialmente devido à produção de matérias-primas e ao consumo de eletricidade. Devido à escassez de dados disponíveis, não foi possível adicionar os créditos materiais (outputs), dado que estes não se encontram ainda no software de avaliação de impacto utilizado, no que toca a lítio ou a baterias.

RECOMENDAÇÕES

- A escassez de informação disponível sobre as tecnologias de reciclagem, o crescente e rápido desenvolvimento e inovações em matéria de veículos elétricos, baterias e tecnologias de reciclagem, conjugados com o atual contexto mundial de pandemia e crise energética, introduzem grande incerteza nos cenários de evolução das baterias de lítio. Devido a estes fatores, os resultados da análise económica e ambiental da reciclagem de baterias de lítio pelo processo LithoRec, desenvolvidos neste estudo, **devem ser analisados com as devidas reservas e encarados como uma primeira abordagem à temática**, recomendando-se que a **GVB acompanhe as evoluções tecnológicas das baterias e do mercado dos veículos elétricos** e que a curto ou médio prazo, e na posse de mais informação disponível, promova uma revisão deste estudo.

Laboratório waste@NOVA

Departamento de Ciências e Engenharia do ambiente (DCEA/FCT NOVA)

Nova.id.FCT – Associação para a Inovação e Desenvolvimento da FCT

Polo MARE-NOVA

NOVA

NOVA SCHOOL OF
SCIENCE & TECHNOLOGY



REFERÊNCIAS

- [1] – Zubi, G. et al. (2018). The lithium-ion battery: State of the art and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 89, June 2018, Pages 292-308. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032118300728>
- [2] – Hyden (2021). Cathode Studies: New Opportunities in Li-Ion Batteries. Disponível em: <https://www.hiden.fr/blog/cathode-studies-batteries/>
- [3] – Kushnir, D. (2015). Lithium Ion Battery Recycling Technology 2015: Current State and Future Prospects. *Environmental Systems Analysis*. Disponível em: http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/230991/local_230991.pdf
- [4] – EU (2019). Report from the commission to the european parliament, the council, the european economic and social committee, the committee of the regions and the European investment bank. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52019DC0176&rid=4>
- [5] – Murashko, K. (2016). Thermal modelling of commercial lithium-ion batteries. Foto “The most common lithium-ion cell types.” Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/The-most-common-lithium-ion-cell-types_fig2_304023316
- [6] - Foto retirada de: <https://insideevs.com/news/323682/rare-look-inside-a-tesla-model-s-battery-pack/>
- [7] - Foto retirada de: <https://pushevs.com/2020/05/13/volkswagen-meb-details/>
- [8] - Foto retirada de: <https://chargedevs.com/newswire/does-tesla-have-a-game-changing-new-battery-cell-in-the-pipeline/>
- [9] - Foto retirada de: <https://www.volkswagen-newsroom.com/en/press-releases/in-brief-key-components-for-a-new-era-the-battery-system-5645>
- [10] - Foto retirada de: <https://pushevs.com/2020/05/13/volkswagen-meb-details/>
- [11] EU (2020). Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council concerning batteries and waste batteries, repealing Directive 2006/66/EC and amending Regulation (EU) 2019/1020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020SC0335&rid=10>
- [12] Electric cars registered in the EU-27, Iceland, Norway and the United Kingdom. Disponível em: https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/new-electric-vehicles-in-eu-1#tab-chart_1
- [13] Newly registered electric cars by country (2020). Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/new-electric-vehicles-by-country-3#tab-dashboard-01>
- [14] Foto retirada de: <https://spectrum.ieee.org/lithiumion-battery-recycling-finally-takes-off-in-north-america-and-europe>
- [15] Ferreira, P. (2021). “O crescimento da mobilidade elétrica e a disseminação da produção descentralizada tornam cada vez mais relevante o contributo dos sistemas de armazenamento para a transição energética.” 9º Fórum Energia, 2021 – Paulo Ferreira, Diretor do Centro de Microscopia Eletrónica Avançada, Imagem e Espectroscopia, Líder do Grupo Estrutura Atómica - Composição de Materiais do Laboratório Ibérico Internacional de Nanotecnologia (INL), Portugal
- [16] Adaptado de Bukvic et al. (2016) in Matos, J. (2019). Bukvić, M., Janjić, R., Stojanović, B. (2016). Recycling Lithium-Ion battery. in: 7th International Scientific Conference on Defensive Technologies OTEH2016, Belgrade, Servia, 6-7 October 2016.
- [17] Matos, J. (2019). Critical Review of the Lithium-Ion Battery Recycling Technologies. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil de sistemas ambientais. FCT NOVA
- [18] Adaptado de Diekmann et al. (2017) & Valio (2017) in Matos, J. (2019). Diekmann, J., Hanisch, C., Froböse, L., Schällicke, G., Loellhoeffel, T., Fölster, A.-S., Kwade, A. (2017). Ecological recycling of Lithium-ion batteries from electric vehicles with focus on mechanical processes. *Journal of The Electrochemical Society*, 164(1), A6184–A6191. | Valio, J. (2017). Critical Review on Lithium Ion Battery Recycling. A dissertation submitted to Aalto University School of Chemical Engineering for the Master degree of Science in Technology, Finland.
- [19] Kwade, A. et al (2018). Recycling of Lithium Ion Batterie, The LithoRec Way. *Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management*. Springer.
- [20] Nowak, S. & Winter, M. (2017). The Role of Sub- and Supercritical CO₂ as “Processing Solvent” for the Recycling and Sample Preparation of Lithium Ion Battery Electrolytes. *Molecules*. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/The-mechanical-hydrometallurgical-LithoRec-II-recycling-process-It-was-reproduced_fig3_314243271
- [21] INE (2021). Veículos rodoviários motorizados (N.º) por Tipo de veículo e Tipo de combustível. Disponível em: https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&contecto=pi&indOcorrCod=0007244&selTab=tab0.
- [22] ACAP (2021). Mercado Automóvel em Portugal por Tipo de Energia em 2021. Disponível em: https://acap.pt/site/uploads/paginas/documentos/9FB2B9E7-2F6D0_1.pdf
- [23] Deloitte (2020). Electric vehicles: Setting a course for 2030”, artigo por Dr. Bryn Walton, Dr. Jamie Hamilton, Geneviève Alberts, Saskia Fullerton-Smith, Edward Day, James Ringrowat at Deloitte Insights. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/future-of-mobility/electric-vehicle-trends-2030.html>