



INSTITUTO  
UNIVERSITÁRIO  
DE LISBOA

---

## **Gestão de resíduos de baterias de veículos elétricos rodoviários no contexto europeu**

Bárbara Mendes Tavares

Mestrado em Estudos do Ambiente e da Sustentabilidade

Orientadora:

Doutora Cristina Maria Paixão de Sousa, Professora Associada,  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Coorientador:

Doutor José Evaldo Geraldo Costa, Investigador Integrado do  
DINAMIA'CET,  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

## **Gestão de resíduos de baterias de veículos elétricos rodoviários no contexto europeu**

Bárbara Mendes Tavares

Mestrado em Estudos do Ambiente e da Sustentabilidade

Orientadora:

Doutora Cristina Maria Paixão de Sousa, Professora Associada,  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Coorientador:

Doutor José Evaldo Geraldo Costa, Investigador Integrado do  
DINAMIA'CET  
ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Outubro, 2023

## **AGRADECIMENTOS**

Os meus agradecimentos dirigem-se a todos os que acompanharam e contribuíram para a elaboração da presente dissertação de Mestrado e para o sucesso da minha jornada académica. Primeiramente, quero agradecer à minha orientadora, Professora Doutora Cristina de Sousa, e ao meu coorientador, Doutor Evaldo Costa, pelo apoio incansável e total disponibilidade demonstrados ao longo do processo.

À minha família, pelo apoio incondicional e motivação ao longo desta jornada.

Aos meus amigos e colegas, pela partilha de ideias e apoio em cada etapa deste processo.

Por fim, quero expressar o meu agradecimento aos potenciais leitores desta tese. Espero que esta dissertação contribua para a compreensão e avanço da gestão de resíduos de baterias de veículos elétricos.

## RESUMO

A gestão de resíduos de baterias de veículos elétricos (VE) emergiu como uma questão de crescente relevância na atualidade. O aumento exponencial na adoção de VE, motivado pela procura por soluções de transporte mais limpas e sustentáveis, fez prever a necessidade de desenvolver soluções de gestão de resíduos de baterias de VE. Esta temática é particularmente relevante para o continente europeu, quando comparada aos outros dois maiores mercados mundiais de VE, a China e os Estados Unidos da América. A Europa tem forte compromisso com a proteção do meio ambiente, está na vanguarda das políticas ambientais e da economia circular, é o segundo maior mercado de VE e não tem domínio de terras raras, pelo que a gestão adequada dos resíduos de baterias permitira reduzir a dependência da importação de materiais de países estrangeiros, nomeadamente metais raros.

Esta dissertação pretende explorar os desenvolvimentos de soluções de gestão de resíduos de baterias, procurando compreender os impactos económicos, ambientais e sociais da gestão de resíduos de baterias de VE rodoviários, bem como as políticas existentes e o seu papel no estímulo à gestão responsável desses resíduos na Europa.

Para tal, foram analisados 58 projetos de investigação e desenvolvimento financiados pela Comissão Europeia, relacionados com a redução, reutilização, reciclagem e/ou recuperação de resíduos de baterias de VE. A análise dos projetos incluiu a avaliação do financiamento atribuído a cada país e entidade participante, bem como a cada tipo de ação (redução, reutilização, reciclagem e/ou recuperação). Além disso, foram examinados os documentos dos projetos para identificar os resultados obtidos e os impactos gerados.

A pesquisa revelou que os países que mais se destacaram na busca por soluções inovadoras na gestão de resíduos de baterias de VE são países com forte presença da indústria automóvel, como a Alemanha, França e Itália, bem como países com forte compromisso ambiental e foco na transição para energias renováveis, como a Suíça, Suécia e Noruega. Os resultados indicam ainda que os projetos se concentram no desenvolvimento de novas tecnologias de baterias, visando designs sustentáveis, aumento da eficiência e durabilidade das baterias, uso de materiais mais leves, recicláveis e com menor impacto ambiental. Essas descobertas estão alinhadas com as prioridades da União Europeia na redução de resíduos e promoção da circularidade das baterias.

**Palavras-chave:** gestão de resíduos, veículo elétrico, bateria de íon-lítio, economia circular



## ABSTRACT

Electric vehicle (EV) battery' waste management has emerged as an area of increasing relevance today. The exponential increase in EV adoption, driven by the search for cleaner and more sustainable transport solutions, has led to the need to develop EV battery waste management solutions. This theme is particularly relevant for the European continent, when compared to the other two largest EV markets in the world, China and the United States of America (USA). Europe has a strong commitment to protecting the environment and is at the forefront of environmental policies and the circular economy. Besides, Europe is the second largest EV market and does not have domain of rare earths, meaning that adequate management of battery waste will help to reduce the dependence on the import of materials from foreign countries.

This dissertation explores the developments in battery waste management solutions, seeking to understand the economic, environmental and social impacts of EV battery waste management, as well as existing policies and their role in encouraging responsible management of this waste in Europe.

To this end, 58 research and development projects funded by the European Commission, related to the reduction, reuse, recycling and/or recovery of waste EV batteries, were analyzed. The analysis of the projects included the evaluation of the financing allocated to each country and participating entity, as well as to each type of action (reduction, reuse, recycling and/or recovery). Furthermore, project documents were examined to identify the results obtained and the impacts generated.

The research revealed that the countries that stood out most in the search for innovative solutions in the management of EV battery waste are countries with a strong presence of the automotive industry, such as Germany, France and Italy, as well as countries with a strong environmental commitment and focus on transition to renewable energy, such as Switzerland, Sweden and Norway. The results also indicate that the projects focus on developing new battery technologies, aiming for sustainable designs, increasing the efficiency and durability of batteries, and using lighter, more recyclable materials with less environmental impact. These findings aligned with the European Union's priorities on reducing waste and promoting battery circularity.

**Keywords:** waste management, electric vehicle, lithium-ion battery, circular economy



# ÍNDICE

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	i
<b>RESUMO</b> .....	ii
<b>ABSTRACT</b> .....	iv
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	3
<b>REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	3
<b>1.1. Expansão da mobilidade através de VE</b> .....	3
<b>1.2. Tipos de VE e características das baterias de íons de lítio</b> .....	6
<b>1.3. Economia circular e o fim de vida das baterias de VE na UE</b> .....	8
<b>1.4. Gestão de resíduos de baterias de VE</b> .....	9
1.4.1. Redução.....	9
1.4.2. Reutilização.....	10
1.4.3. Reciclagem.....	12
1.4.4. Recuperação.....	14
<b>1.5. Relevância da gestão de resíduos de baterias de VE: impactos ambientais, económicos e sociais</b> .....	15
<b>1.6. Desafios da reciclagem de baterias de VE</b> .....	17
<b>1.7. Políticas de apoio à expansão da mobilidade elétrica e ao tratamento de resíduos de baterias de VE</b> .....	19
1.7.1. Contexto europeu.....	19
1.7.2. Contexto chinês.....	22
1.7.3. Contexto norte-americano.....	25
1.7.4. Sistematização.....	27
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	29
<b>METODOLOGIA</b> .....	29
<b>2.1. Recolha de dados</b> .....	29
<b>2.2. Análise de dados</b> .....	30
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	31
<b>RESULTADOS</b> .....	31
<b>3.1. Distribuição geográfica</b> .....	31
<b>3.2. Tipo de entidade</b> .....	35
<b>3.3. Tipo de ação</b> .....	47
<b>3.4. Análise dos resultados obtidos e impactos alcançados pelos projetos</b> .....	49
<b>CONCLUSÕES</b> .....	61
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	63

<b>FONTES:</b> .....	64
<b>ANEXOS</b> .....	65

## ÍNDICE DE GRÁFICOS E TABELAS

### GRÁFICOS

Gráfico 1- <i>Stock Share</i> VE rodoviários.....	3
Gráfico 2- <i>Sales Share</i> VE rodoviários.....	4

### TABELAS

Tabela 1- Sistematização das políticas públicas adotadas na UE, China e EUA .....	28
Tabela 2- Díades que mais se relacionaram em projetos de redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE .....	33
Tabela 3- Top 10 países mais financiados pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE .....	33
Tabela 4- Número de participações e financiamento da UE por tipo de entidade .....	36
Tabela 5- Top 10 organizações mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE .....	38
Tabela 6- Top 10 Entidades Privadas com Fins Lucrativos mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE ....	39
Tabela 7- Top 10 Organizações de Investigação mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE .....	40
Tabela 8- Top 10 Estabelecimentos de Ensino Superior mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE....	41
Tabela 9- Top 10 Organismos Públicos mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE.....	42
Tabela 10- Top 10 Outras Entidades mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE.....	45
Tabela 11- Número de projetos e financiamento por tipo de ação (Redução, Reutilização, Reciclagem, Recuperação) .....	48
Tabela 12- Impactos dos projetos por dimensão económica, ambiental e social .....	60

### FIGURAS

Figura 1- Rede.....	31
---------------------	----

## **GLOSSÁRIO DE SIGLAS**

BEV - Battery Electric Vehicle

EUA- Estados Unidos da América

FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle

GEE- Gases com Efeito de Estufa

HEV- Hybrid Electric Vehicle

IEA – International Energy Agency (Agência Internacional de Energia)

LCA - Life Cycle Assessment (Avaliação do Ciclo de Vida)

LIB - Lithium Ion Batteries (Bateria de Íon de Lítio)

PHEV - Plug-In Hybrid Electric Vehicle

UE- União Europeia

VE- Veículo Elétrico



## INTRODUÇÃO

O setor de transportes é responsável por uma parcela expressiva das emissões globais de gases com efeito de estufa (GEE), contribuindo significativamente para o agravamento das alterações climáticas. Na União Europeia (UE), os transportes são responsáveis por cerca de um quarto das emissões de GEE, contribuindo significativamente para o agravamento das alterações climáticas. Além disso, os transportes representam a principal fonte de poluição do ar nas áreas urbanas da UE, conforme relatado pela Comissão Europeia em 2020.

A utilização generalizada de veículos elétricos (VE) surgiu como uma solução que permite a redução das emissões de GEE produzidas pelo transporte rodoviário. Consequentemente, a frota mundial de VE global tem vindo a aumentar exponencialmente, totalizando cerca de 26 milhões de unidades em 2022 (IEA, 2023). Observando esta tendência de rápida expansão da mobilidade elétrica, podemos prever a necessidade de desenvolver o sistema de gestão de resíduos resultantes do final do ciclo de vida das baterias de VE.

A redução, reutilização, reciclagem e recuperação dos resíduos de baterias de VE em fim de vida é essencial para minimizar o impacto ambiental desses veículos, reduzir a dependência de matérias-primas importadas, criar uma economia circular para os materiais, e, desta forma, garantir a transição para uma mobilidade elétrica sustentável.

A Europa tem um forte compromisso com a proteção do meio ambiente e está na vanguarda das políticas ambientais. No entanto, quando comparada com os outros dois maiores mercados mundiais de VE, a China e os Estados Unidos da América (EUA), a Europa tem ficado um pouco atrás na questão da gestão dos resíduos de baterias de VE. De notar que o quadro regulamentar da UE para a reciclagem destes resíduos entrou apenas recentemente em vigor (agosto de 2023).

Existem ainda poucos estudos sobre a gestão de resíduos de baterias de VE, principalmente em relação aos desenvolvimentos desta área na Europa, talvez por ser um tema relativamente recente (Li et al., 2021). A generalidade dos estudos existentes tem uma perspetiva técnica, associada ao desenvolvimento de novas soluções. Os estudos sobre as políticas públicas nesta área e sobre os efeitos das soluções para a gestão destes resíduos são em número reduzido.

Esta dissertação irá contribuir para o avanço do conhecimento sobre a circularidade de baterias de VE rodoviários, preenchendo a lacuna existente na literatura em relação a este tema. A gestão do fim de vida de baterias de VE irá ser abordada, ao nível das políticas públicas, através de uma combinação de regulação e investimento em investigação e inovação em matéria da circularidade das baterias. A análise empírica permitirá entender como o financiamento da

União Europeia (UE) para a investigação e desenvolvimento de novas soluções (tecnológicas e de modelos de negócio) está a ser afetado (em termos de países, organizações e tipos de ação) e analisar os efeitos dos projetos que beneficiam desse financiamento.

Neste contexto, a presente dissertação procura dar resposta à seguinte pergunta de partida: de que forma as políticas públicas podem incentivar o aumento da circularidade nas baterias de VE na UE, alavancando os seus benefícios económicos, ambientais e sociais?

Assim, os objetivos desta investigação são perceber os impactos económicos, ambientais e sociais da gestão de resíduos de baterias de VE rodoviários; analisar os mecanismos existentes em matéria de gestão de resíduos de baterias de VE na Europa; analisar as políticas existentes e os seus contributos para o aumento da gestão de resíduos de baterias de VE na Europa; explorar os benefícios e desafios da gestão de resíduos de baterias de VE na Europa.

O trabalho está organizado da seguinte forma: a próxima seção apresenta a revisão da literatura. Em seguida, a metodologia utilizada será descrita. A Seção 3 apresenta os resultados, seguidos de uma discussão sobre as principais conclusões na Seção 4.

## CAPÍTULO 1

### REVISÃO DA LITERATURA

#### 1.1. Expansão da mobilidade através de VE

Ao longo da história, o setor de transportes tem sido amplamente dominado pelo consumo de energia proveniente de combustíveis derivados do petróleo. Embora essa predominância tenha contribuído para a disponibilidade de serviços de transporte acessíveis e confiáveis, impulsionando a prosperidade socioeconômica, também levou o setor de transportes a ser um dos maiores emissores de GEE e, portanto, um dos principais contribuintes para o aquecimento global. Resolver este desafio tornou-se, portanto, um imperativo político, e uma rápida adoção de VE é amplamente considerada como uma opção crucial para esta finalidade. A rápida adoção de VE desempenhará um papel vital na descarbonização do setor de transportes e no alcance das metas relacionadas com as alterações climáticas (Li et al., 2021).

De acordo com a *International Energy Agency* no relatório *Global EV Outlook 2023* (IEA, 2023), as vendas de VE em 2022 excederam os 10 milhões de unidades. As vendas de novos VE representaram cerca de 14% do total de automóveis novos vendidos em 2022, um aumento em relação aos cerca de 9% em 2021 e aos 5% em 2020.

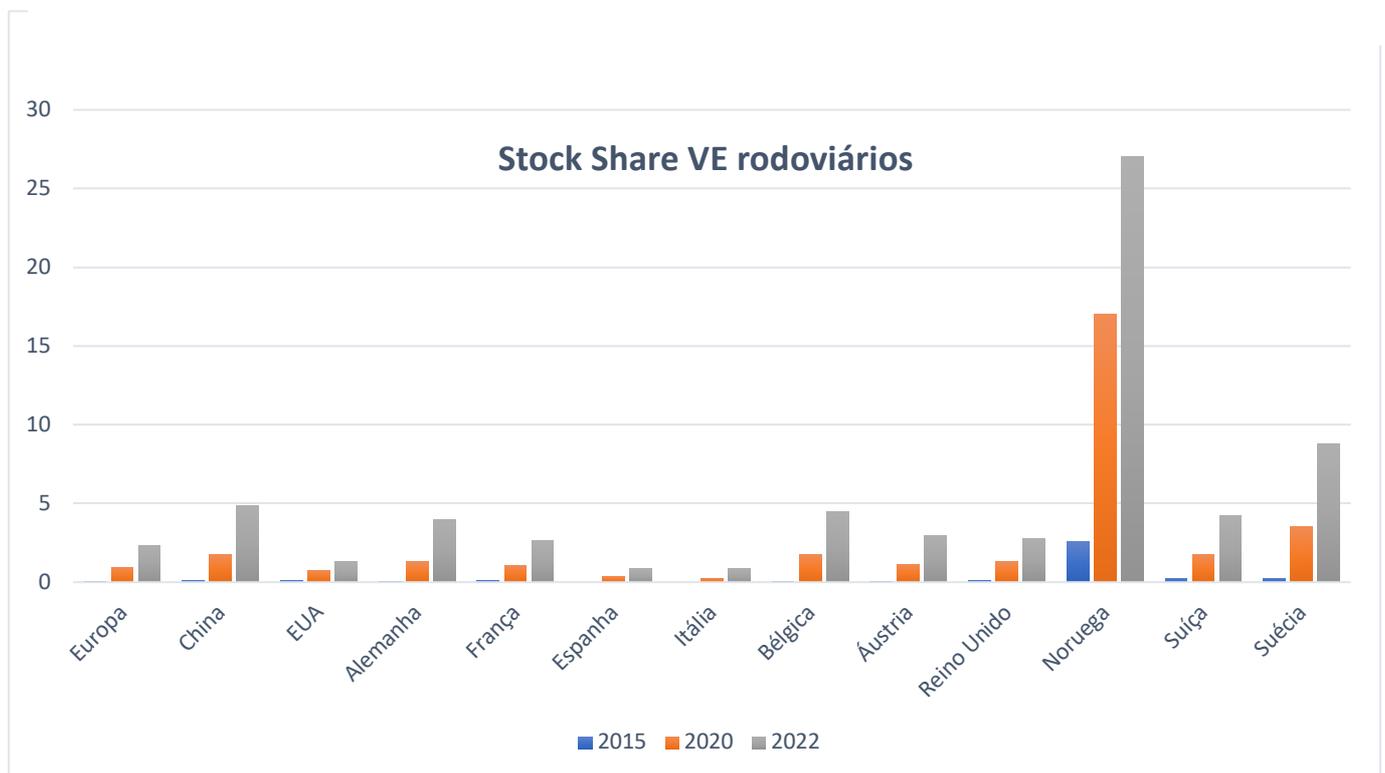
Existem três mercados que dominaram as vendas globais. A China liderou o mercado de VE, contando com mais de metade dos VE em circulação no mundo. Em 2022, a China registou cerca de 60% das vendas globais de VE. Na Europa, o segundo maior mercado, as vendas de VE aumentaram mais de 15% em 2022. Nos Estados Unidos da América (EUA), o terceiro maior mercado, as vendas de VE aumentaram 55% em 2022, atingindo uma quota de vendas de 8%. As vendas globais de VE mantiveram a tendência de crescimento em 2023, com mais de 2,3 milhões de veículos vendidos no primeiro trimestre, um aumento de cerca de 25% em relação ao mesmo período no ano anterior. Em 2022, a frota de VE global totalizou cerca de 26 milhões de unidades (IEA, 2023). Espera-se que as vendas de VE aumentem drasticamente entre 2025 e 2030, atingindo valores entre os 125 milhões e 220 milhões até 2030 (Olsson et al., 2018). Segundo a *Bloomberg New Energy Finance*, até 2040, um terço da frota global de carros será constituída por VE. (Pinegar & Smith, 2019).

O "stock share" e o "sales share" são duas métricas que podem ser usadas para analisar o crescimento do mercado de VE. O "stock share" de VE de um determinado país refere-se à proporção de VE em circulação no país em relação ao número total de veículos em circulação. Tal representa a presença cumulativa de VE em circulação ao longo do tempo. Por outras

palavras, o “stock share” mede a penetração de VE no mercado. Um “stock share” elevado indica que um país tem uma grande quantidade de VE registados em comparação com os veículos movidos a combustíveis fósseis, o que sugere um histórico de adoção e investimento em VE no país. O “sales share” é uma variável de fluxo e refere-se à proporção de VE vendidos num determinado país em relação ao número total de novos veículos vendidos no país. Assim, o “sales share” mede a procura por VE num determinado país, num determinado momento. Um elevado “sales share” indica uma forte procura por VE no mercado de automóveis novo, o que pode ser um indicativo de uma tendência atual de crescimento na adoção de VE.

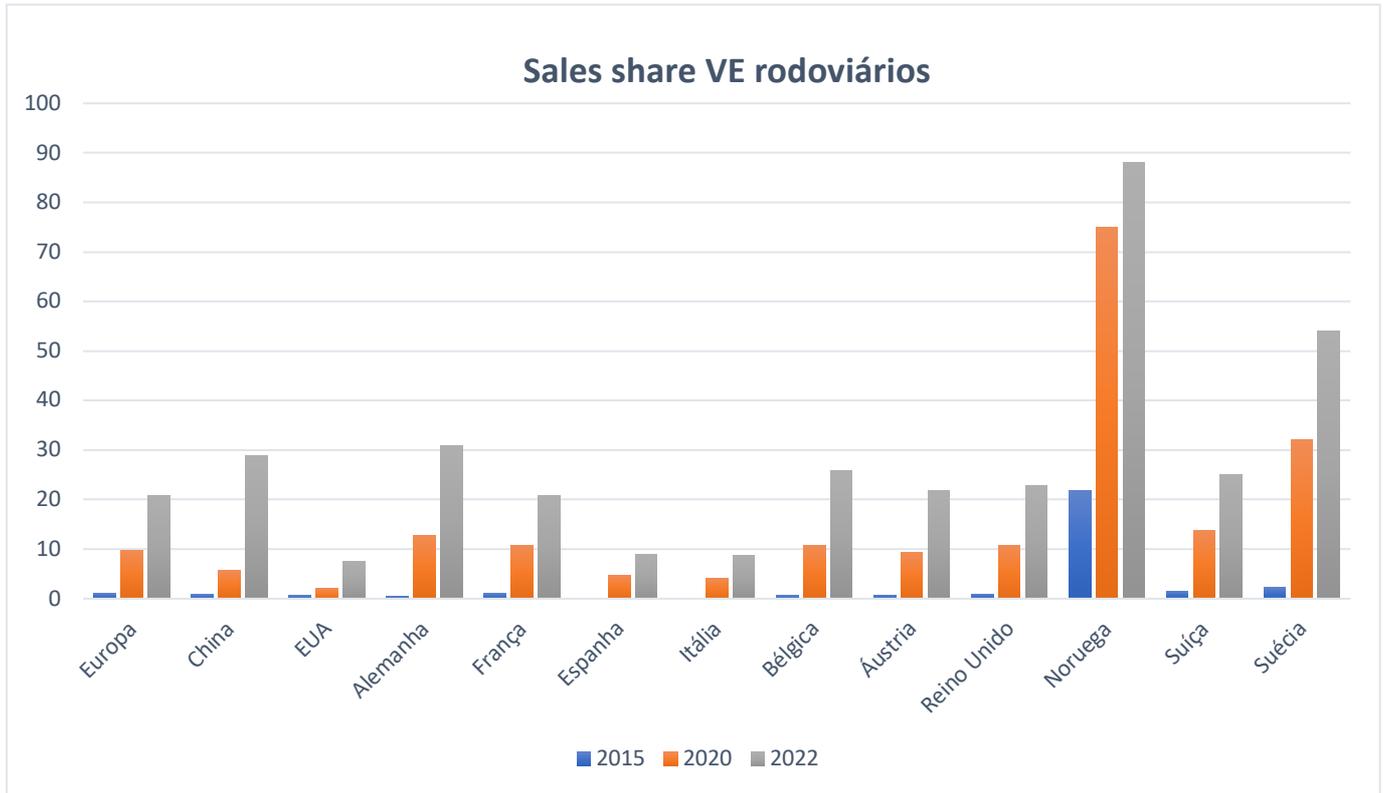
O crescimento dos valores de “stock share” e “sales share” poderão ser resultado de uma série de fatores, como o aumento da oferta de veículos elétricos no mercado, o crescimento da consciencialização sobre os benefícios dos VE e a adoção de políticas públicas de incentivo à mobilidade elétrica.

Gráfico 1- *Stock Share* VE rodoviários



Fonte: International Energy Agency (2023) [<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>]. Nota: Os dados de stock share e sales share referem-se a veículos elétricos BEV (battery electric vehicles) e PHEV (plug-in hybrid electric vehicles).

Gráfico 2- Sales Share VE rodoviários



Fonte: International Energy Agency (2023) [<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>]. Nota: Os dados de stock share e sales share referem-se a veículos elétricos BEV (battery electric vehicles) e PHEV (plug-in hybrid electric vehicles).

A análise dos gráficos 1 e 2 permite observar que a Noruega se destaca com os valores mais elevados de “stock share” e “sales share”. O "stock share" de 27% da Noruega é o mais alto do mundo, o que significa que os VE são uma parte significativa da frota de veículos do país. O "sales share" de 88% da Noruega é também o mais alto do mundo, o que significa que a maioria dos novos veículos vendidos na Noruega são elétricos. A Noruega é líder mundial na adoção de VE, o que poderá dever-se, em parte, à forte política pública de incentivo à mobilidade elétrica. De facto, a Noruega oferece uma série de incentivos aos proprietários de VE, desde isenção de impostos e taxas, acesso a faixas exclusivas e estacionamento gratuito. Outro fator é a infraestrutura de recarga, uma vez que a Noruega tem uma das maiores redes de recarga de VE do mundo. Existem pontos de recarga públicos em todo o país, e a maioria dos postos de gasolina também oferece pontos de recarga. Para complementar, a Noruega também tem uma população relativamente pequena e uma densidade populacional relativamente alta, o que a torna o país com mais VE per capita no mundo (Norwegian Government, 2021).

O aumento da penetração de VE é também influenciado pela redução do seu preço, refletindo a redução dos custos de produção. Com o aumento da capacidade de produção de baterias e progressão tecnológica, o preço dos LIB (Lithium Ion Batteries) packs para VE tem vindo a diminuir continuamente; por exemplo, em 2010 o preço era \$1000/kWh e diminuiu para \$273/kWh em 2016. A Bloomberg New Energy Finance previu que o preço diminuirá para cerca de US\$ 73/kWh até 2030 (Pinegar & Smith, 2019). O custo das baterias de VE caiu mais de 85% desde 2010, de forma consideravelmente mais rápida do que muitos estudos inicialmente anteciparam (Li, et al., 2021). Por outro lado, a expansão dos VE fez aumentar o preço do lítio e do cobalto, o que incentivou a recuperação desses materiais. Novos postos de reciclagem começaram a operar mundialmente, e os que já existiam aumentaram a sua capacidade (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

## **1.2. Tipos de VE e características das baterias de íons de lítio**

O termo ‘Veículo Elétrico’ (VE) refere-se a um veículo que é alimentado por um ou mais motores elétricos, em vez de um motor de combustão interna movido a combustíveis fósseis. A eletricidade que alimenta o motor elétrico é armazenada numa bateria recarregável, que é carregada usando uma fonte de energia externa.

Existem vários tipos de VE disponíveis no mercado. Os BEV (battery electric vehicle) são veículos movidos exclusivamente por motores elétricos e dependem de baterias para armazenar energia; Os veículos híbridos (HEV) combinam um motor de combustão interna com um motor elétrico, e geralmente usam a energia regenerativa para recarregar a bateria; Os veículos híbridos plug-in (PHEV) também combinam um motor de combustão interna com um motor elétrico, mas têm uma bateria maior que pode ser recarregada por meio de uma tomada elétrica externa; e por fim, os VE de célula de combustível (FCEV) usam hidrogénio como combustível para gerar eletricidade numa célula de combustível que alimenta o motor (Costa, 2019).

No âmbito desta dissertação, o termo ‘Veículo Elétrico’ engloba o BEV e o PHEV, uma vez que várias referências e fontes utilizadas se referem ao termo da mesma forma.

As LIB adquiriram popularidade na aplicação em equipamentos eletrónicos nos anos 90, e atualmente são as baterias mais comuns nos VE (Gaines et al., 2018). Em comparação com os restantes tipos de baterias, as baterias de íon-lítio apresentam um desempenho elétrico superior - elevada densidade de energia e potência (Gaines et al., 2018) - e um longo ciclo de vida (Pinegar & Smith, 2019). A química das LIB envolve uma variedade de materiais, incluindo metais valiosos, grafite e compostos orgânicos. Este tipo de bateria usa uma solução eletrolítica

de lítio para armazenar energia elétrica e são recarregáveis. O lítio é um elemento crucial para alcançar um elevado desempenho elétrico numa bateria; tem o menor potencial de redução entre todos os elementos, o que permite que as baterias à base de lítio tenham o maior potencial de célula possível (Pinegar & Smith, 2019).

As baterias de íon-lítio geralmente usam um ânodo de grafite e um cátodo feito de óxidos metálicos de lítio, e podem ser compostas por fosfato de ferro-lítio (LFP), cobalto de manganês de lítio-níquel (NMC), óxido de alumínio e cobalto de lítio-níquel (NCA), manganês de lítio (LTO). A bateria de íon-lítio de primeira geração usava principalmente óxido de lítio-cobalto (LCO). Por percentagem de peso, isto é, gramas de material pelo peso em gramas da bateria, uma bateria típica de íons de lítio compreende cerca de 7% de cobre, 7% de lítio (expresso como equivalente de carbonato de lítio, isto é, 1g de lítio = 5,17g de LCE), 4% de níquel, 5% de manganês, 10% de cobre, 15% de alumínio, 16% de grafite e 36% de outros materiais. As células da bateria são montadas em módulos e estes são montados posteriormente nos packs de bateria (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

De acordo com a literatura, a vida útil das baterias de VE é de aproximadamente 8 anos devido à degradação da capacidade e qualidade. Para além do “calendar ageing”, uma bateria de íons de lítio torna-se “gasta” (capacidade reduzida de armazenar e fornecer eletricidade) principalmente porque durante os ciclos de carga que ocorrem nas células das baterias, um produto sólido é formado devido à reação do ânodo litiado com o alquil carbonato da solução eletrólita (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Para evitar um mau funcionamento inesperado da direção do VE, as baterias precisam de ser substituídas antes que a capacidade restante diminua para 70–80% de seu nível original (Tang et al., 2019). Uma bateria de VE de íon de lítio típica tem uma vida útil inicial de 200.000–250.000km, embora o carregamento rápido, cada vez mais adotado (>50 kW), reduza a duração da bateria. Quando a bateria perde 20% (15% em determinados modelos de VE) da sua capacidade inicial, ela torna-se imprópria para tração, pois a menor capacidade da bateria afeta as capacidades de aceleração, autonomia e regeneração do veículo. Assim, as baterias que retêm entre 80-85% da sua capacidade original são recolhidas (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Após terminar o ciclo de vida automotivo da bateria, procede-se a uma avaliação do estado de saúde e do estado de carga da bateria para determinar se esta é mais adequada para reutilizar ou para reciclar. O estado de saúde mede “o grau em que uma bateria atende às especificações iniciais” e o estado de carga mede “o grau em que uma bateria é carregada ou descarregada” (Li et al., 2021, p.112).

### 1.3. Economia circular e o fim de vida das baterias de VE na UE

O conceito de economia circular teve origem nas práticas industriais da década de 1970 e visa a criação de um sistema industrial regenerativo e restaurador. A economia circular aposta na construção de uma economia verde e sustentável, maximizando a utilização dos recursos naturais, e minimizando o desperdício (Martins et al., 2021).

No artigo científico *Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions*, de Kirchherr et al., (2017), realizou-se uma análise a 114 definições de economia circular, e chegou-se à seguinte definição de economia circular:

*A economia circular descreve um sistema económico baseado em modelos de negócios que substituem o conceito de 'fim de vida' por reduzir, alternativamente a reutilizar, reciclar e recuperar materiais em processos de produção/distribuição e consumo, operando assim no nível micro (produtos, empresas, consumidores), nível meso (parques eco industriais) e nível macro (cidade, região, nação, etc.), com o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável, o que implica criar qualidade ambiental, prosperidade económica e equidade social, em benefício de gerações atuais e futuras (Kirchherr et al., 2017, p.224-225).*

A atual política europeia de gestão de resíduos foi desenhada de acordo com os princípios de economia circular, priorizando o acompanhamento do ciclo de vida completo do produto em vez de somente tratar os fluxos de resíduos. Tal pressupõe uma priorização de um tipo de ação de tratamento de resíduos em detrimento de outras opções menos favoráveis. Em 1975, a Diretiva-Quadro Resíduos da União Europeia (1975/442/CEE) introduziu pela primeira vez o conceito de hierarquia de resíduos na política de resíduos europeia, enfatizando a importância da minimização de resíduos e a proteção do meio ambiente e da saúde humana.

A hierarquia de resíduos prioriza a redução e reutilização de materiais, colocando a reciclagem apenas como terceira opção, e a recuperação e valorização de resíduos como opções menos favoráveis. Os processos de reciclagem pressupõem gastos energéticos e geram fluxos secundários, isto é, resíduos. Desta forma, a diminuição de resíduos através da redução e reutilização diminuirá o consumo de recursos, energia e gasto monetário para processar os resíduos. Para além disso, a abordagem de redução e reutilização de resíduos aborda as causas e não apenas os sintomas do descarte de resíduos (Barlt, 2014).

Kirchherr et al. (2017) destacam que muitos autores, como Zhu et al. (2010a, 2010b) e Reh (2013), consideram os diferentes *R frameworks*, como os princípios fundamentais da economia circular, sendo a utilizada no artigo a *4R framework* (Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar).

Esta foi adotada pela Diretiva do Quadro de Resíduos da União Europeia (Comissão Europeia, 2008). De notar que até então a "Recuperação" não era considerada na política europeia.

Com o aumento da procura por VE, a gestão adequada das baterias usadas desses veículos tornou-se uma necessidade. No contexto das baterias de VE, a economia circular enfatiza a importância da redução e reutilização, através de práticas como a extensão da vida útil das baterias ou dar um segundo uso à bateria sem a necessidade de desmantelamento ou recuperação de materiais.

Em suma, a Economia Circular aplicada à reciclagem de baterias de VE visa maximizar o valor dos materiais utilizados na produção dessas baterias, reduzir o impacto ambiental associado à extração e ao descarte desses materiais, e contribuir para a transição para uma economia mais sustentável e circular. A próxima secção aborda as diferentes práticas de gestão de resíduos no contexto das baterias de VE.

#### **1.4. Gestão de resíduos de baterias de VE**

##### **1.4.1. Redução**

Tal como mencionado anteriormente, a Diretiva-Quadro Resíduos da UE atribui máxima prioridade à prevenção/ redução de resíduos. A hierarquia de resíduos enfatiza a prevenção da produção de resíduos antes que uma substância, material ou produto se transforme em resíduo (Sihvonen & Ritola, 2015). A redução de resíduos assenta no conceito de que criar menos resíduos leva a consumir menos recursos e a gastar menos esforço para reciclar ou eliminar resíduos. Na hierarquia da gestão de resíduos, a redução de resíduos, ou prevenção de resíduos, é priorizada, o que significa que é preferível evitar a geração de resíduos desde o início, em vez de tratá-los (Barlt, 2014).

A diretiva salienta também a importância de alargar o ciclo de vida dos produtos. A vida útil de um produto é um fator importante a considerar no seu impacto ambiental. Quanto mais tempo um produto durar, menos recursos serão necessários para produzi-lo e menos recursos serão descartados. Existem várias formas de prolongar a vida útil de um produto antes de chegar ao mercado. Uma delas é projetar produtos que possam ser usados por vários ciclos de vida, utilizando materiais duráveis ou que possam ser facilmente reparados. Outra forma de prolongar a vida útil de um produto é aumentar a sua durabilidade, através de testes rigorosos ou de uma melhor compreensão das necessidades dos utilizadores. Ao criar produtos de qualidade e duráveis, é mais provável que os utilizadores os descartem com menos frequência (Sihvonen & Ritola, 2015). No caso das baterias de VE, significa adotar medidas para aumentar a

longevidade e durabilidade das baterias, bem como melhorar a sua eficiência e desempenho. Destaca-se o conceito de interligação de práticas de fabrico sustentáveis com um design sustentável, uma vez que o ciclo de vida de um produto é determinado principalmente durante as fases iniciais do desenvolvimento do produto (Sihvonen & Ritola, 2015).

O objetivo último da prevenção de resíduos é conseguir uma sociedade sem resíduos, tornando a gestão de resíduos obsoleta a longo prazo. Alcançar a primeira prioridade de prevenção de resíduos é a mais desafiante devido a vários fatores, como as dificuldades na medição do progresso real e os interesses conflituosos entre atores (Sihvonen & Ritola, 2015).

#### 1.4.2. Reutilização

A reutilização ocupa o segundo lugar na hierarquia dos resíduos. A reutilização tem como vantagens a redução do número de novos produtos que precisam de ser fabricados, consumir menos energia e matérias-primas, e exigir menos custos de eliminação. No entanto, é importante considerar que o transporte e limpeza dos produtos reutilizados também consomem energia e recursos (Barlt, 2014).

No contexto das baterias de VE, a reutilização passa pelo reaproveitamento da capacidade residual das baterias usadas de VE (Tang et al., 2019). A maioria das baterias de VE descartadas ainda retêm entre 80 e 85% da sua capacidade original, e como tal, uma aplicabilidade das baterias no final de vida automóvel poderá residir na sua reutilização por meio de uma hierarquia de aplicações menos exigentes, como por exemplo, em sistemas estacionários de armazenamento de energia (Li et al., 2021). Em comparação com o uso em VE, as aplicações estacionárias exigem menor densidade de corrente da bateria (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Os módulos de bateria com potência e vida útil semelhantes são separados e remontados em novos packs de bateria prontos para uso estacionário, como aplicação em instalações de armazenamento de energia em rede para uso utilitário, construção ou torres de comunicação (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Uma demonstração pública significativa da capacidade das baterias reaproveitadas para fornecer armazenamento de energia e serviços de rede (regulação da frequência de corrente alternada na rede), é o sistema de armazenamento de energia de 3 MW (potência nominal) / 2,8 MWh (capacidade nominal), instalado em 2018, em Amesterdão na Joahn Cruyff Arena. Durante os eventos no estádio, a procura por iluminação elétrica, transmissão de energia, equipamentos de tecnologia da informação, serviço de catering e segurança, aumenta de uma carga básica de 200 kW para mais de 3000 kW durante toda a duração do evento. O novo sistema de armazenamento de energia instalado na Arena de Amesterdão é composto por 590

baterias, 340 novas e 250 baterias de segunda vida originárias de packs de baterias de VE de 24 kWh cuja capacidade atual é ligeiramente inferior a 20 kWh. As baterias estão contidas em 61 racks de baterias. Fornecidas diretamente pelo fabricante do VE, as baterias de segunda vida estão certificadas para durar 10 anos (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Sistemas de armazenamento de energia semelhantes, que combinam módulos de bateria de VE de segunda vida com bateria e tecnologia digital de gestão de energia para aplicações residenciais, comerciais e industriais, são cada vez mais comercializados em todo o mundo por várias empresas (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Da mesma forma, a China, maior operadora mundial de torres de telecomunicações, terminou desde 2018 a compra de baterias de chumbo-ácido. Todas as baterias de chumbo-ácido existentes e rapidamente envelhecidas atualmente instaladas para energia de backup em 98% dos seus 2 milhões de estações base de torre de telecomunicações (correspondente a uma procura de 54 GWh de energia armazenada) serão substituídas por baterias de íon-lítio de segunda vida. Acordos de parceria foram assinados com mais de 16 fabricantes de VE e fabricantes de baterias, já que as baterias de íon-lítio de segunda vida em 2018 custaram menos de US\$ 100/kWh, ou seja, o mesmo preço das baterias de chumbo-ácido novas (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Para efeito de comparação, tal traduz-se numa procura futura de até 2 milhões de baterias de VE usadas apenas do back-up da estação base de telecomunicações da China, uma vez que uma única torre precisa de cerca de 30 kWh de bateria de backup. De acordo com uma análise completa realizada em 2017 por Melin (2019) até 2025, cerca de 75% das baterias de VE gastas serão reutilizadas em soluções de segunda vida por vários anos depois de os veículos deixarem de estar em circulação, após o que serão enviadas para reciclagem para recuperar todos os componentes valiosos (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

A reutilização pode ser uma opção vantajosa por várias razões. No caso da aplicação das baterias usadas em sistemas de armazenamento de energia, como no exemplo dado anteriormente sobre o estádio em Amesterdão, atenuar os picos de procura de energia através da energia da rede de baixo custo armazenada nas baterias de lítio, reduz os custos de combustível usado em geradores, evita picos de carregamento, e pode gerar um fluxo de receitas quando o sistema de armazenamento de energia é usado para fornecer serviços de balanceamento de rede, como controlo de frequência (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Por outro lado, Li et al. (2021), referem que a reutilização pode ser uma opção atraente para otimizar o uso do material e proporcionar a redução do custo de baterias de íon-lítio. Para além disso, a reutilização das baterias permite manter os componentes, design e configuração das

mesmas. No entanto, tem havido um debate significativo sobre a viabilidade técnica da reutilização de baterias causado principalmente por preocupações sobre a segurança e a confiabilidade das baterias reutilizadas, que surgem principalmente da dificuldade técnica em fornecer uma avaliação precisa do “comportamento de degradação” de resíduos de baterias VE (Li et al., 2021). O desenvolvimento da tecnologia de reutilização de baterias ainda está em seus estágios iniciais, e a maior parte desse desenvolvimento na China até agora limitou-se a alguns projetos-piloto (Li et al., 2021).

Para a reutilização de baterias, sugere-se que a diferença de custo entre as baterias reutilizadas e as novas permaneça suficientemente ampla para garantir a compensação de desempenho (em termos, por exemplo, vida útil e confiabilidade) em baterias reutilizadas em relação a novas alternativas. No entanto, é mais provável que essa lacuna se torne menor, pois espera-se que o custo de fabricação de novas baterias diminua a uma taxa muito superior à taxa de queda do custo de fabricação de baterias reutilizadas, o que, por sua vez, tornará as baterias reutilizadas menos competitiva em custo no mercado (Engel et al., 2019). Isso é especialmente verdadeiro se observarmos que o custo de novas baterias de VE caiu mais de 85% desde 2010 – consideravelmente mais rápido do que muitos estudos inicialmente antecipados (por exemplo, Nykvist & Nilsson, 2015). (Li, et al., 2021).

#### 1.4.3. Reciclagem

O processo de reciclagem de baterias de íon-lítio geralmente envolve a desmontagem da bateria e a separação dos componentes. A reciclagem, em geral, conta com tecnologias de recuperação de primeira geração, nas quais um tratamento físico para obtenção de diferentes fluxos de matérias-primas, é seguido por um processo hidrometalúrgico (lixiviação e extração) para extração dos metais. Em detalhe, as baterias são primeiro descarregadas e depois desmontadas manualmente para recuperar as folhas de alumínio e cobre na forma metálica e o separador, reciclados diretamente após o desmantelamento (Pagliaro & Meneguzzo, 2019).

Com a expansão dos VE, o preço do lítio aumentou em 3 vezes e do cobalto em 4 vezes, entre 2016 e 2018. Desta forma, recuperar os materiais usados nas baterias de íon de lítio (lítio, cobalto, manganês e níquel, e outros metais valiosos como o cobre, o alumínio e a grafite), tornou-se lucrativo. Até então, não existia viabilidade econômica em reciclar as baterias de íon-lítio na Europa pois apenas 3% do material das baterias era feito de lítio. Em meados de 2018, a Comissão Europeia referiu que algumas empresas na Europa começaram a investir na reciclagem de baterias de VE usadas, como na Bélgica e na França, algumas em conjunto com

os fabricantes de automóveis, para recolher e reciclar as baterias. Pagliaro & Meneguzzo (2019) argumentam que a tendência irá evoluir cada vez mais e que, eventualmente, os processos de reciclagem de baterias de íon-lítio irão ser substituídas por processos de “química verde”, isto é, produção de compostos de baterias cada vez mais puros.

Os materiais valiosos, como cobalto, níquel e lítio, são recuperados e purificados, enquanto outros materiais, como plásticos e metais, são reciclados ou descartados adequadamente. Depois de os materiais serem devidamente separados e processados, podem ser usados para fabricar novas baterias ou outros produtos.

Na fase de extração de materiais, existem duas tecnologias principais de reciclagem de baterias de íons de lítio, o processo pirometalúrgico e o processo hidrometalúrgico. Uma vez que o processo pirometalúrgico não permite recuperar alguns materiais valiosos, entre os quais o lítio, é mais provável que o processo hidrometalúrgico seja utilizado (Tang et al., 2019).

Os processos pirometalúrgicos envolvem a utilização de altas temperaturas para fundir as baterias e separar componentes em camadas de metal líquido, escória e gases. O metal líquido pode ser refinado para produzir cobre, níquel, cobalto e ferro, enquanto a escória pode ser utilizada como matéria-prima em outras indústrias. A viabilidade económica do processo pirometalúrgico irá depender da capacidade de recuperação e dos preços do cobalto, níquel e cobre (Pinegar & Smith, 2019). Estima-se que o processo pirometalúrgico apenas possa recuperar efetivamente cerca de metade dos materiais dos resíduos de baterias (Li et al., 2021).

Os processos hidrometalúrgicos, por outro lado, utilizam uma solução aquosa para dissolver os componentes da bateria, separando-os e purificando-os por meio de vários processos químicos e físicos. Os processos hidrometalúrgicos podem processar baterias à base de lítio e recuperar lítio e metais valiosos, bem como outros componentes da bateria (por exemplo, grafite e alumínio). A solução resultante pode ser reciclada para a produção de novas baterias, enquanto os metais recuperados são refinados e utilizados na fabricação de novos produtos (Pinegar & Smith, 2019).

A tecnologia de reciclagem direta envolve a remoção do material do cátodo ou do ânodo do eletrodo para a fabricação de baterias remanufaturadas. A atratividade dessa tecnologia vem da sua capacidade de manter a estrutura, morfologia e pureza dos materiais catódicos valiosos, que normalmente são destruídos nos processos pirometalúrgicos e hidrometalúrgico. A tecnologia de reciclagem direta ainda não demonstrou viabilidade comercial, pois o processo é pouco eficaz no tratamento de resíduos de baterias em mau estado, com diferentes composições e de baixo desempenho eletroquímico (Li et al., 2021).

A indústria de reciclagem de baterias de VE ainda é relativamente nova, mas há um esforço crescente para aumentar a conscientização sobre a sua importância e para desenvolver infraestrutura para a reciclagem de baterias a nível global.

Estima-se que a atual taxa global de reciclagem de LIB seja de apenas 5 a 7%, muito abaixo da capacidade necessária para a produção sustentável de LIB, o que poderá ser explicado em parte pelas restrições técnicas, barreiras económicas, questões logísticas e lacunas regulatórias (Pinegar & Smith, 2019).

#### 1.4.4. Recuperação

No contexto da gestão de resíduos, a recuperação é a opção menos preferível, de acordo com a hierarquia de resíduos. Esta envolve a recuperação de valor a partir dos resíduos, seja na forma de energia ou de materiais, de modo a minimizar o desperdício e maximizar a utilização de recursos. A recuperação de materiais procura recuperar materiais valiosos ou perigosos durante a fase de pós-utilização (Sihvonen & Ritola, 2015).

No artigo “Moving from recycling to waste prevention” (Barlt, 2014), a incineração de resíduos sólidos urbanos é citada como uma forma de recuperação de valor. Nesse processo, os resíduos são queimados a altas temperaturas, e a energia térmica gerada pode ser transformada em eletricidade ou calor, que pode ser utilizado para várias finalidades, como aquecimento de edifícios ou geração de eletricidade. É considerado uma forma de valorização, pois transforma os resíduos num recurso útil (energia), em vez de simplesmente enviá-los para aterros sanitários. No entanto, a incineração é uma opção controversa de gestão de resíduos devido às preocupações com a poluição do ar e a emissão de GEE. Portanto, como mencionado no artigo, é fundamental que as instalações de incineração cumpram rigorosos padrões ambientais para minimizar os impactos negativos.

A prioridade, de acordo com a hierarquia de resíduos, deve ser dada à redução e à reciclagem de resíduos antes de considerar a incineração como uma opção. Isso significa que a redução na geração de resíduos e a reciclagem de materiais devem ser promovidas como formas mais sustentáveis de gestão de resíduos, com a incineração sendo usada como uma opção de último recurso quando outras alternativas não são viáveis (Barlt, 2014).

### **1.5. Relevância da gestão de resíduos de baterias de VE: impactos ambientais, económicos e sociais**

O primeiro lote de baterias de VE está a chegar ao fim da sua vida útil (Tang et al., 2019). Prevê-se que até 2025 serão descartadas 250 mil toneladas de baterias de VE (Olsson et al., 2018), e, até 2030, o número poderá atingir os 4 milhões de toneladas de baterias em fim de vida útil, o que está acima da atual capacidade global de reciclagem (Pinegar & Smith, 2019).

Com a rápida dispersão de VE, o número de baterias em fim de vida útil é crescente, o que representa um sério desafio para a gestão do tratamento de resíduos. Tal como referido pela *International Energy Agency*, sem o tratamento adequado, esse volume de resíduos de baterias provavelmente tornar-se-á um passivo ambiental significativo (Li, et al., 2021).

Segundo Beaudet et al., 2020, a relevância da reciclagem de baterias de íon-lítio de VE prende-se com os seguintes argumentos:

(a) Saúde e segurança pública: A reciclagem é essencial para evitar riscos de toxicidade, segurança e contaminação. As baterias de íon-lítio contêm vários materiais tóxicos e/ou inflamáveis, desde metais pesados a produtos químicos tóxicos e plásticos, pelo que a sua presença no sistema de gestão de resíduos sólidos municipais apresenta riscos de segurança significativos. Incidentes de incêndio causados por baterias de íon-lítio ocorrem frequentemente em instalações de gestão de resíduos, para além de que o seu descarte em aterros pode levar à contaminação do solo e das águas subterrâneas e impactar negativamente os ecossistemas. A reciclagem permitirá assim reduzir o material que vai para aterros, eliminando o risco de incêndio/explosão, evitando o descarte de materiais tóxicos e plásticos contidos que causarão grandes riscos ao meio ambiente, desde a contaminação do solo à poluição da água, e à saúde humana (Tang et al., 2019).

(b) Redução da pegada de carbono dos VE: A fabricação de baterias e a extração mineral são responsáveis por cerca de 30 a 50% das emissões de GEE durante o ciclo de vida dos VE. A fabricação de baterias geralmente tem uma pegada ambiental maior do que a maioria dos componentes típicos de veículos com motor de combustão interna (ICEV). A reciclagem de baterias pode reduzir a pegada de carbono, evitando a extração de materiais virgens. Dunn et al. (2015) estimaram que o ciclo de vida dos VE pode ser reduzido em até 51% por meio da reciclagem.

(c) Redução de custos: As matérias-primas representam até 50% do custo de uma bateria de íon-lítio comum. A substituição de materiais virgens por materiais reciclados pode reduzir o custo total do pack de bateria em até 30%.

d) Redução da dependência da extração mineral: A fabricação de VE envolve uma maior dependência de recursos minerais não renováveis do que os veículos com motor de combustão, o que tem levado alguns autores a questionar-se sobre a sustentabilidade a longo prazo dos VE. Muitos defendem que para que os VE possam ser uma alternativa plausível em relação aos veículos movidos a combustíveis fósseis, é fundamental que o seu uso não acarrete uma mudança para a dependência de outro recurso escasso, como é o caso do lítio (Olsson et al., 2018). Se o consumo de metais raros se tornar excessivo, poderá haver um impacto significativo na economia global. Para além disso, a extração e ao processamento mineral estão associados grandes impactos ambientais. A reciclagem de baterias poderia reduzir a dependência de extração mineral, evitando o esgotamento de materiais raros, e diminuindo os impactos ambientais associados à extração mineral. À medida que a disponibilidade de materiais reciclados aumenta e o crescimento nas vendas VE desacelerar, os materiais reciclados poderão satisfazer uma parte significativa do consumo de materiais.

(e) Redução da dependência de fornecedores específicos: A reciclagem permite contornar a dependência de fornecedores estrangeiros, especialmente em relação a materiais de zonas de conflito (por exemplo, a República Democrática do Congo para cobalto bruto) ou com poder de mercado monopolista (por exemplo, China no caso do lítio refinado), onde é possível apontar padrões trabalhistas e ambientais baixos em comparação com outros países, como o Canadá. De acordo com o WEF, a expansão massiva da procura de matéria-prima, nomeadamente do cobalto, níquel e lítio, fará com que a cadeia de valor enfrente riscos sociais, ambientais e de integridade, o que poderá envolver trabalho infantil e possíveis formas de trabalho forçado, condições inseguras de trabalho, ar local, poluição da água e do solo, perda de biodiversidade e corrupção.

(f) Estimular a atividade económica local: A reciclagem de baterias poderá ser uma indústria impactante no sentido de gerar receitas e oportunidades de empregos em países e regiões que atualmente não beneficiam das atividades industriais relacionadas aos VE.

Em suma, os fatores económicos que motivam a reciclagem de LIB incluem a crescente procura de VE, o que se espera venha a resultar num aumento significativo do número de baterias em fim de vida que precisam de ser eliminadas ou recicladas. À medida que a procura destes materiais aumenta, o valor de mercado dos materiais reciclados também deverá aumentar, criando oportunidades de negócio para as empresas de reciclagem. A reciclagem destas baterias pode ajudar a recuperar materiais valiosos como o lítio, o cobalto e o níquel, que podem ser usados para fabricar novas baterias ou outros produtos, reduzindo a necessidade de

materiais virgens e baixando o custo de produção. Por outro lado, a reciclagem permite a redução da dependência de fornecedores específicos, o que é particularmente vantajoso para a Europa, uma vez que reduz a dependência da importação de materiais de países estrangeiros.

Os fatores ambientais que impulsionam a reciclagem de LIB incluem a redução do impacto ambiental da produção e a mitigação do impacto dos resíduos de baterias. Por um lado, a produção de LIB requer quantidades significativas de energia, muitas vezes gerada a partir de combustíveis fósseis, e recursos; já a eliminação de LIB pode levar à poluição ambiental e a riscos para a saúde. Com a reciclagem destas baterias, a recuperação de materiais valiosos reduz a necessidade de materiais virgens e processos de produção com uso intensivo de energia pode ser reduzida, resultando em menores emissões de gases com efeito de estufa.

Os fatores sociais podem prender-se com o facto de que a reciclagem reduz a necessidade de abastecimento de materiais em zonas de conflito ou com poder de mercado monopolista, com padrões de trabalho reduzidos. Por outro lado, a reciclagem de baterias pode estimular a atividade económica local, gerar receitas e novos empregos.

## **1.6. Desafios da reciclagem de baterias de VE**

Beaudet et al. (2020) apontam alguns dos desafios técnicos e financeiros da reciclagem de LIB, entre os quais os custos elevados associados à recolha e tratamento dos resíduos de baterias, incerteza relativamente à qualidade, segurança e vida útil das baterias recuperadas. Os custos de reciclagem frequentemente superam os de extração e refinação de recursos virgens. Por exemplo, Melin (2019) estimou que o custo da reciclagem do lítio é três vezes superior ao da extração de novo lítio, o que constitui um impedimento ao investimento na reciclagem. No futuro, o menor teor de cobalto nas LIB poderá reduzir ainda mais a viabilidade financeira da reciclagem.

Li et al. (2021) acrescentam que a complexidade das LIB e uma grande variedade de seleção de materiais tornam extremamente difícil separar completamente os componentes da bateria. Portanto, a rentabilidade desses processos depende em grande parte da recuperação de cobalto e níquel no produto para compensar a qualidade do produto. Caso contrário, os materiais recuperados dificilmente pagam o custo operacional do processo de reciclagem. Neubauer et al. (2015) acrescentam que poderá inclusive existir um baixo conteúdo de materiais valiosos em algumas baterias, e nesse caso há uma baixa viabilidade económica da reciclagem. Devido à complexidade das LIB e a questões de segurança no processo de reciclagem, alcançar eficiência económica e qualidade do produto reciclado por meio dessas rotas é complicado e

caro com as tecnologias atuais. Reduzir o custo operacional com a obtenção de alto rendimento e qualidade do produto será um desafio fundamental para os processos de reciclagem LIB, pois o preço dos LIB diminuirá ainda mais no futuro. (Pinegar & Smith, 2019).

A falta de padronização no projeto de baterias e diversidade de designs de baterias, que variam em tamanho, formato (cilíndrico, prismático e bolsa) e composição química, tende a igualmente a complicar o processo de tratamento de resíduos de bateria, uma vez que requerem diferentes abordagens para desmontagem e reciclagem (Engel et al., 2019). Na maioria dos casos, os processos de verificação do estado de saúde e estado de carga das baterias são desenvolvidos manualmente devido à variação significativa no design e na química das baterias de VE, o que dificulta a triagem e avaliação automática. Para além disso, o processo manual é caro e requer trabalhadores qualificados e equipamentos especializados, que frequentemente são escassos (Li et al., 2021). Li et al. (2021) apontam a imaturidade tecnológica e Neubauer et al. (2015) o elevado custo das tecnologias existentes como um dos desafios da gestão de resíduos de baterias.

Por outro lado, idealmente, a reciclagem deveria restaurar os materiais das baterias usadas para uma condição de alta pureza e qualidade adequada para a fabricação de baterias de íon-lítio, o que é muitas vezes referido como reciclagem de “circuito fechado”. No entanto, muitos recicladores acabam por vender os materiais a outras indústrias, o que não alivia a pressão na cadeia de abastecimento de baterias elétricas (Beudet et al., 2020).

Para além disso, os processos de reciclagem geralmente consomem quantidades consideráveis de energia elétrica e térmica e também podem gerar emissões gasosas tóxicas secundárias, contaminantes da água e outros resíduos gasosos e sólidos indesejados. A recolha e o transporte de baterias usadas também podem consumir quantidades consideráveis de energia, o que pode ter um impacto significativo no ambiente. A pegada energética e ambiental total da reciclagem deve ser inferior à necessária para extrair, refinar e transportar materiais virgens (Beudet et al., 2020).

O desafio da reciclagem de LIB é alcançar o equilíbrio entre custo, eficiência energética, baixo impacto ambiental e segurança nos processos de reciclagem. Os materiais reciclados também devem ser comparáveis ou superiores aos materiais virgens em termos de preço, qualidade e confiabilidade (Beudet et al., 2020).

## **1.7. Políticas de apoio à expansão da mobilidade elétrica e ao tratamento de resíduos de baterias de VE**

A legislação desempenha um papel importante no controle da gestão do tratamento de resíduos de qualquer material. Ao definir metas para taxas de recolha e de reciclagem e regulamentar as responsabilidades de descarte e requisitos de segurança, as autoridades governamentais podem contribuir para o estabelecimento de uma economia circular eficaz. Um conceito importante a esse respeito é a responsabilidade estendida do produtor (EPR), que atribui a responsabilidade pelo tratamento de produtos em fim de vida útil ao produtor (Neumann et al., 2022).

O conceito de EPR envolve o estabelecimento de um mecanismo de devolução, pelo qual os consumidores devolvem os seus produtos usados para serem reaproveitados, reciclados ou descartados, sob a responsabilidade do produtor. A atratividade dessa abordagem decorre da sua capacidade de internalizar os custos do tratamento de resíduos nas considerações dos produtores, proporcionando-lhes assim um melhor incentivo para projetar os seus produtos de forma a reduzir o custo do tratamento de resíduos por meio de, por exemplo, um design do produto mais padronizado, e incentivar o reaproveitamento e a reciclagem de materiais. Os seus proponentes também argumentam que as políticas baseadas em EPR poderiam alavancar o financiamento e a experiência do setor privado para promover o tratamento de resíduos em fim de vida e, portanto, reduzir o ônus financeiro do tratamento de resíduos para o governo (Li et al., 2021).

O princípio da EPR pode ser dividido em duas subcategorias: a alocação de responsabilidades físicas e financeiras. A responsabilidade física é referida como a responsabilidade pela recolha, transporte, triagem, reaproveitamento, reciclagem e descarte de produtos residuais; já a responsabilidade financeira refere-se à responsabilidade pelo financiamento do tratamento de resíduos e permite que os produtores internalizem os custos do tratamento de resíduos e os incorporem em seus preços (Li et al., 2021).

Os regulamentos relativos ao tratamento de baterias em fim de vida útil variam de país para país. Em seguida, será apresentada a legislação dos três dos maiores mercados de baterias, UE, China e EUA (Neumann et al., 2022).

### **1.7.1. Contexto europeu**

A UE tem uma das políticas ambientais mais avançadas do mundo e tem demonstrado uma crescente preocupação com questões relacionadas com a sustentabilidade e a economia circular. O objetivo da política ambiental da UE é proteger, preservar e melhorar o meio ambiente,

promover o uso sustentável de recursos naturais e garantir o bem-estar das gerações presentes e futuras (Comissão Europeia, 2020).

Na UE, as regulamentações atuais relativamente à reciclagem de baterias incluem a Diretiva de Baterias (Diretiva 2006/66/EC) e a Diretiva de Resíduos de Equipamentos Elétricos e Eletrônicos (WEEE) (Diretiva 2012/19/UE). Essas regulamentações incluem um EPR físico e financeiro. Os países membros são obrigados a estabelecer sistemas de recolha de baterias portáteis em fim de vida na forma de pontos de recolha localizados nas proximidades dos usuários finais. Os custos de recolha, tratamento, reciclagem e descarte devem ser financiados pelos fabricantes de baterias. Os produtores e distribuidores também são obrigados a aceitar baterias portáteis, automotivas e industriais (incluindo baterias de VE) gratuitamente. Baterias industriais, automotivas e de resíduos portáteis recolhidos devem passar por tratamento e reciclagem usando as melhores técnicas disponíveis para proteger a saúde e o meio ambiente antes que os compostos residuais sejam depositados em aterros ou incinerados. A fim de maximizar a recolha separada de baterias usadas de resíduos municipais mistos, as diretivas estabelecem metas mínimas de recolha e eficiências de reciclagem para os estados-membros. A taxa de recolha é calculada dividindo a massa de baterias portáteis recolhida num ano pela massa média anual de baterias portáteis colocadas no mercado nos três anos anteriores. As taxas mínimas de recolha foram definidas em 25% até 2012 e 45% até 2016. Para Pb-ácido, Ni-Cd e outros tipos de bateria, a diretiva estabelece metas de eficiência de reciclagem de 65%, 75% e 50% por peso médio, respetivamente (Neumann et al., 2022).

Num relatório de revisão de 2019, a Comissão Europeia avaliou a eficácia da Diretiva de Bateria de 2006. De acordo com o relatório, a maioria dos países alcançou a meta de recolha de 25% até 2012. No entanto, apenas 14 estados-membros atingiram a meta subsequente de 45% até 2016. No total, 56,7% de todos os resíduos de baterias portáteis não são coletadas anualmente e cerca de 35.000 toneladas acabam em fluxos de resíduos municipais. O relatório concluiu que as metas de recolha atuais não são suficientes e outras metas devem ser definidas para o futuro. Outra preocupação é que as metas de recolha até agora foram definidas apenas para resíduos de baterias portáteis e não para baterias automotivas e industriais, incluindo baterias de VE. Outra declaração da Associação Europeia de Sistemas Nacionais de Recolha de Baterias (Eucobat) descreve o cálculo da taxa de recolha como inadequado, uma vez que o cálculo não considera a vida útil variável para diferentes tipos de bateria, bem como possíveis exportações de bateria e, portanto, não é realista. Como solução, propõe-se o cálculo de taxas de recolha com base nas células de bateria disponíveis para recolha (Neumann et al., 2022).

Olsson et al. (2018) defendem que a legislação europeia atual não cria incentivos para reciclagem adicional. Os metais como o lítio, cobalto, níquel devem ser reciclados, mas o peso deles é apenas uma fração de todo o módulo, então deve haver uma atualização sobre como definir as exigências de reciclagem das baterias.

Como parte do European Green Deal, em 2020, uma proposta legislativa foi apresentada pela Comissão Europeia para substituir a Diretiva de Baterias de 2006. Os regulamentos propostos excedem consideravelmente a legislação anterior em muitos aspectos e destinam-se a apoiar o desenvolvimento da UE rumo a uma economia moderna, eficiente em termos de recursos e competitiva. Assim, as novas metas de recolha para resíduos de baterias portáteis (excluindo baterias para meios de transporte leves, como bicicletas elétricas) são de 45% até 2023, 65% até 2025 e 70% até 2030. A proposta não inclui metas de recolha para baterias industriais, automotivas e VE, mas estabelece uma estrutura legal para o estabelecimento de sistemas de recolha apropriados para esses tipos de bateria. Além disso, a proposta é de revisão das metas de recolha em 2030, incluindo a consideração de ajustar o método de cálculo das taxas de coleta com base nos resíduos de baterias disponíveis para recolha. Novas metas para eficiências de reciclagem são 65% para LIB e 75% para baterias de Pb-ácido até 2025. Além disso, metas de recuperação de material de 95% para cobalto, 95% para cobre, 95% para chumbo, 95% para níquel, e 70% para o lítio até 2030 foram definidos. Outros requisitos incluem a rotulagem da bateria, um passaporte de bateria para baterias com capacidades acima de 2 kWh, conteúdo mínimo de materiais reciclados em novas baterias industriais e automotivas, requisitos mínimos de desempenho e durabilidade e muito mais (Neumann et al., 2022).

Em agosto do corrente ano entrou em vigor um novo regulamento relativamente às baterias e respetivos resíduos, que visa fortalecer a indústria europeia de baterias no contexto mundial e promover uma economia circular para baterias, regulando todo o seu ciclo de vida. Este regulamento aplicar-se-á a todas as baterias, incluindo as baterias de VE.

O regulamento fixou metas de valorização de 50 % até ao final de 2027 e de 80 % até ao final de 2031 para o lítio; e de 90% para cobalto, cobre, chumbo e níquel até ao final de 2027, e de 95% até ao final de 2031.

Para além disso, estabeleceu uma meta de reciclagem de 65% em peso médio das baterias à base de lítio até ao final de 2025, e de 70 %, em peso médio até 2030.

As novas regras visam promover a concorrência leal do mercado interno de baterias ao estabelecer critérios rigorosos de desempenho, durabilidade e segurança, e introduz requisitos de rotulagem e informação, incluindo um passaporte de bateria e um código QR. O regulamento

estabelece ainda restrições rigorosas impostas a substâncias perigosas e exige a partilha de informações sobre a pegada de carbono das baterias (Conselho Europeu, 2023).

### 1.7.2. Contexto chinês

A primeira legislação relativa a produtos de baterias na China foi introduzida em 1995. A legislação focou-se numa fase inicial em eliminar progressivamente as baterias que contivessem mercúrio e cádmio, e mais tarde deu particular atenção à reciclagem e descarte adequado das baterias de chumbo-ácido (Neumann et al., 2022).

Até 2010, houve uma falta de regulação do governo na recolha e tratamento das LIB (Neumann et al., 2022). O volume de baterias descartadas de VE era quase insignificante dado a pequena frota de veículos, cerca de 500 VE em 2009, pelo que a gestão de resíduos de baterias de VE não foi objeto prioritário na China durante esse período. Durante o início dos anos 2000, as políticas que se destacam foram a introdução de vários padrões e códigos da indústria focados na redução da exposição humana e ambiental a produtos químicos tóxicos durante o processo de manufatura de baterias de íon-lítio para VE, bem como a segurança no seu transporte (Li et al., 2021).

No início da década de 2010, uma maior prioridade foi atribuída à eletrificação do transporte na China. Entre o período de 2010 a 2020, o governo chinês procedeu à implementação de uma série de incentivos monetários, como a atribuição de subsídios e isenções fiscais, e não monetários, como isenções de controlo de tráfego e de propriedade de veículos, fazendo com que o stock de VE do país se expandisse rapidamente (Li et al., 2021).

Antecipando o desafio iminente do tratamento de resíduos de baterias de uma frota de VE em rápida expansão, o governo chinês introduziu várias políticas para promover o tratamento de resíduos de baterias de VE (Li et al., 2021). Com o *Notice of the State Council on Issuing the Planning for the Development of the Energy-Saving and New Energy Automobile Industry* desde 2012, e o *Guiding Opinions of the General Office of the State Council on Accelerating Promoting and Application of New-Energy Automobile* desde 2014, o Conselho de Estado estabeleceu uma base para a instituição de um sistema de recolha e tratamento de baterias de VE descartadas, que incluem o desenvolvimento de padrões técnicos e regras de gestão, e a aplicação efetiva dessas normas (Neumann et al., 2022). Destacou-se a necessidade de identificar métodos eficazes, como por exemplo o pagamento de depósito antecipado reembolsado após a devolução de baterias usadas, para promover a recolha de baterias de VE

usadas e estabelecer um sistema sólido para reciclar e reutilizar baterias usadas de VE (Li, et al, 2021).

Mais tarde, em 2016, a National Development and Reform Commission (NDRC) e quatro outros departamentos e administrações centrais lançaram em conjunto a Electric Vehicle Battery Recycling Technology Policy, que especifica qual o rumo a seguir no desenvolvimento de vários aspetos (design, fabricação, recolha, armazenamento, triagem, transporte, reciclagem e reutilização) do tratamento de resíduos de baterias de VE e exige que os fabricantes de VE e baterias sejam responsáveis pelo tratamento de baterias de resíduos de VE, com base no conceito de EPR (Li, et al, 2021).

Para implementar as políticas mencionadas acima, uma série de normas e códigos nacionais foram introduzidos durante o período de 2015 a 2020, para regulamentar vários aspetos (por exemplo, segurança, teste, reciclagem, reutilização e descarte) do tratamento de resíduos de baterias. Esses padrões e códigos podem ser obrigatórios (GB) ou voluntários (GB/T). De acordo com a Lei de Padronização da República Popular da China, os padrões obrigatórios são requisitos técnicos projetados para “salvaguardar a saúde humana e a segurança da pessoa, segurança do estado, segurança ambiental ecológica e atender às necessidades fundamentais da administração social e económica” (Artigo 9), e os padrões voluntários são requisitos técnicos “necessários para apoiar os padrões obrigatórios e liderar as indústrias relevantes” (Artigo 10) (Li, et al, 2021).

Ainda no ano de 2016, foi aprovada a Policy on Pollution Prevention Techniques of Waste Batteries pelo Ministério da Ecologia e Meio Ambiente (MEE) e o Implementation Plan of the Extended Producer Responsibility System pela Secretaria-Geral da Comissão Estadual (GOSC). Essas políticas especificam o desenvolvimento de padrões relacionados à prevenção da poluição e à recolha, transporte, armazenamento, utilização e descarte de resíduos de LIB, para além de um sistema de monitoramento para resíduos de baterias. Para tal são definidas medidas para produtores de VE e de baterias projetadas com base no princípio da Responsabilidade Estendida do Produtor (EPR) e metas específicas de reciclagem de 40% até 2020 e 50% até 2025 para os principais resíduos, incluindo LIB (Neumann et al., 2022).

Com as Interim Measures for the Management of Recycling and Utilisation of Power Batteries of New Energy Vehicles em 2018, o Ministério da Indústria e Tecnologia da Informação (MIIT), juntamente com outros seis ministérios e comissões, consolidaram as regulamentações existentes para o tratamento de resíduos de baterias. Juntamente com várias diretrizes subsequentes, as Interim Measures fornecem uma estrutura política geral para a atual indústria de reciclagem de baterias na China. Os elementos-chave desta estrutura política são:

a) incentivar os fabricantes de baterias a projetar baterias com um design que permita uma desmontagem fácil; b) obrigação dos fabricantes de baterias em fornecer as informações técnicas necessárias para o tratamento da bateria em fim de vida útil aos fabricantes de VE; c) incentivar os mesmos à aplicação em cascata das baterias em fim de vida útil, como aplicações de segundo uso, e ao estabelecimento de pontos de recolha de resíduos de bateria; d) atribuição de responsabilidade aos produtores de VE e de baterias pelo tratamento de resíduos de baterias, com base no conceito EPR; f) metas de recuperação de material de 98% para níquel, cobalto e manganês, 85% para lítio e 97% para materiais de terras raras e outros metais (Neumann et al., 2022).

No mesmo ano, as Interim Regulations on the Traceability Management Platform of EV batteries implementaram um sistema de rastreabilidade que visa a recolha de informação das baterias de VE, abrangendo todo o seu ciclo de vida, desde o fabrico até à venda, utilização, desmontagem, reciclagem/reutilização e eliminação, para a regulamentação do tratamento de resíduos de baterias. A todas as baterias de VE manufaturadas é atribuído um ID único para poderem ser rastreadas durante o seu ciclo de vida. Os stakeholders (fabricantes de baterias, fabricantes de VE, concessionárias de automóveis, empresas de reutilização e de reciclagem) devem registar e atualizar as informações de cada bateria (Tang et al, 2019).

Para além das políticas de apoio fiscal, nomeadamente a atribuição de subsídios, e do sistema de rastreabilidade implementado, políticas punitivas estão gradualmente a ser incorporadas na regulamentação desde o ano de 2018. Os sistemas recompensa-punição defendem que as empresas que não cumprirem com as suas responsabilidades serão punidas, isto é, se a taxa de reciclagem de determinada empresa for superior ou inferior à taxa de reciclagem objetivo, será recompensada ou punida (Tang et al, 2019).

Em resposta às regulamentações do governo, os fabricantes de VE estão a participar ativamente na construção de sistemas de reciclagem, contando com 1538 pontos de reciclagem estabelecidos por 27 produtores de automóveis na China em novembro de 2018. No entanto, a taxa de reciclagem de baterias de VE na China em 2019 era apenas de 2%, pelo que Tang et al. (2019) defendem que o método tradicional de atribuição de subsídios é ineficiente.

Mais recentemente, em 2020, o Conselho de Estado anunciou o New Energy Vehicle Industry Development Plan (2021-2035), que estabelece uma estrutura política com o objetivo de promover o desenvolvimento da indústria de VE até 2035. O plano estabelece cinco tarefas estratégicas, incluindo melhorar a capacidade de inovação tecnológica, construir um novo ecossistema industrial, promover o desenvolvimento industrial integrado, melhorar a infraestrutura e aprofundar a abertura e cooperação. No que diz respeito à reciclagem de baterias

de VE, o plano estabelece medidas para estabelecer um sistema eficiente de reciclagem, como a implementação de um esquema de responsabilidade estendida do produtor para as baterias de VE, fortalecimento da plataforma de gestão de rastreabilidade das baterias, aplicação em cascata dos produtos de baterias, pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de detecção de energia residual, avaliação de valor residual e gestão de segurança, além da promoção da extração eficiente de elementos valiosos de baterias em fim de vida. O plano também incentiva o desenvolvimento da cadeia de valor das baterias, encorajando as empresas a melhorarem a capacidade de recursos essenciais, como lítio, níquel, cobalto, platina e outros (IEA, 2022).

A China é atualmente o maior produtor e consumidor de VE do mundo e, por isso, tem um grande interesse em garantir a segurança e a sustentabilidade na produção, utilização e reciclagem das baterias de carros elétricos. Como resultado, há uma grande quantidade de informação disponível sobre a legislação e as políticas da China para a reciclagem de baterias de carros elétricos, em comparação com outros países que ainda estão a desenvolver a sua indústria de VE e políticas de gestão de baterias.

### 1.7.3. Contexto norte-americano

Em 2009, os Estados Unidos criaram a Iniciativa de Manufatura de Baterias e Componentes para Veículos Elétricos (The Electric Drive Vehicle Battery and Component Manufacturing Initiative), que consistia na concessão de subsídios a fabricantes americanos para a produção de baterias e componentes para VE. Os subsídios foram concedidos em 2009 e 2010, com duração do projeto até 5 anos. O foco da iniciativa foi o estabelecimento de fábricas de baterias, fornecedores de materiais e componentes, e instalações de reciclagem para baterias de íon-lítio e outras baterias de tecnologia avançada para veículos elétricos (IEA,2017).

Em 2021, o Presidente dos Estados Unidos, Joe Biden emitiu uma ordem executiva para revisar o estado das cadeias de abastecimento internas do país, incluindo baterias, minerais-chave para baterias e semicondutores usados em carros elétricos, bem como metais raros usados em turbinas eólicas e outros materiais usados em tecnologias de energia renovável. O Secretário da Energia foi responsável por identificar os riscos potenciais das baterias de alta capacidade e propor recomendações políticas para lidar com esses riscos. Em junho de 2021, foi entregue o relatório *Building Resilient Supply Chains, Revitalizing American Manufacturing, and Fostering Broad-Based Growth*, compilando as ações tomadas e propondo recomendações para fortalecer as cadeias de abastecimento americanas e a produção de baterias (IEA,2022a).

Em fevereiro de 2022, o Secretário de Energia apresentou o relatório sobre as cadeias de abastecimento para a base industrial do setor energético, intitulado *America's Strategy to Secure the Supply Chain for a Robust Clean Energy Transition*. Seguindo as recomendações desses relatórios, o Departamento do Interior lançou um novo grupo de trabalho interinstitucional para reformar as leis, regulamentações e processos de licenciamento de mineração de rochas (IEA,2022a).

A partir de 2021, o Presidente Biden descreveu o desenvolvimento de cadeias de abastecimento domésticas para minerais críticos como uma prioridade nacional, o que inclui o processamento, reciclagem e produção eficientes das baterias. Como parte do Ato de Investimento em Infraestrutura e Empregos dos Estados Unidos (U.S. Infrastructure Investment and Jobs Act), foram alocados recursos para programas de processamento foram alocados recursos para programas de processamento de materiais de bateria e pesquisa e desenvolvimento de baterias para veículos elétricos. As duas provisões principais são focadas no processamento e manufatura de baterias, e na reciclagem de baterias de veículos elétricos e aplicações de segunda vida das baterias, e recebem um orçamento total de US\$ 6,325 bilhões (IEA,2023a).

A secção 40207 relativa ao processamento e manufatura de baterias, apela à concessão de subsídios por parte do Secretário da Energia a fim de suportar, construir e melhorar de projetos e instalações de demonstração de processamento de material de baterias, bem como para projetos e instalações de demonstração de manufatura e reciclagem de componentes de baterias. Para além disso, a secção autoriza a concessão de subsídios para estados e governos locais para auxiliar a recolha, reciclagem e reprocessamento das baterias. A secção ainda exige que o Secretário da Energia realize uma task force de forma a desenvolver uma ferramenta que estenda a responsabilidade do produtor a todo o ciclo de vida do produto, desde o estabelecimento de metas de reciclagem, reciclagem obrigatória, design do produto, modelos de recolha, transporte de materiais recolhidos e regulamentos relacionados (IEA,2023a).

A secção 40208 relativa à reciclagem de baterias de veículos elétricos e a programas de aplicações de segunda vida das baterias, instrui o Secretário da Energia a estabelecer um programa de investigação, desenvolvimento e demonstração para reciclagem de baterias de VE e aplicações de segunda-vida das baterias, concedendo subsídios a projetos que aumentem a reciclagem e o segundo uso das baterias de VE, incluindo a recuperação de materiais críticos, e apela que relate ao Congresso as oportunidades de mercado nesta área bem como relativa à produção de baterias de VE nos EUA (IEA,2023a).

Em março de 2022, o Presidente Biden a invocou a Lei de Produção de Defesa (Defense Production Act) sobre o assunto de produção e fornecimento de minerais críticos. A determinação presidencial estabelece garantir um fornecimento confiável e sustentável de minerais como lítio, níquel, cobalto, grafite e manganês, bem como uma produção responsável desses minerais, por meio de mineração e processamento responsáveis, reciclagem, reutilização e recuperação de fontes secundárias, como recolha de subprodutos residuais (IEA,2022b). O âmbito desta determinação presidencial inclui a produção de baterias de grande capacidade para os setores automotivo, e-mobilidade e armazenamento estacionário. A determinação deve ser executada por projetos para criar, manter, proteger, expandir ou restaurar capacidades de produção nacional. O Secretário de Defesa deverá apoiar estudos de viabilidade, trabalhar em projetos de mineração e processamento, e implementar outras atividades autorizadas pela Lei de Produção de Defesa (IEA, 2022c).

A Lei de Redução da Inflação (Inflation Reduction Act (IRA)) de 2022, estabelece um crédito de até US\$ 7.500 por VE (Clean Vehicle Credit) para incentivar e acelerar a sua adoção. Os VE movidos a bateria elegíveis devem atender ao Requisito de Componentes de Bateria e Minerais Críticos, que define i) uma percentagem de valor dos minerais críticos aplicáveis contidos na bateria do VE que foram extraídos ou processados nos EUA ou num país com o qual os EUA têm acordo de comércio livre, ou reciclados na América do Norte (40% para veículos que entraram em circulação até 1 de janeiro de 2024, e 80% para veículos que entrarem em circulação após 31 de dezembro de 2028); ii) uma percentagem do valor de componentes contidos na bateria do VE que foram fabricados ou montados na América do Norte (50% para veículos que entraram em circulação até 1 de janeiro de 2024 e 100% para veículos que entrarem em circulação após 31 de dezembro de 2028) (IEA,2023b).

#### 1.7.4. Sistematização

A análise anterior revela a crescente adoção de políticas públicas – nomeadamente de leis e regulamentos – associadas à necessidade de lidar com a expansão da mobilidade elétrica e com a gestão do fim de vida das baterias. As políticas adotadas nos três principais mercados têm alguns elementos em comum, nomeadamente o uso do princípio da EPR. A tabela 1 sistematiza os diferentes aspetos da regulação de cada um dos mercados.

Tabela 1- Sistematização das políticas públicas adotadas na UE, China e EUA

<b>Aspeto da Regulação</b>	<b>UE</b>	<b>China</b>	<b>EUA</b>
Metas de Reciclagem de Baterias de VE	Meta de reciclagem de 65% em peso médio das baterias à base de lítio até ao final de 2025, e de 70%, em peso médio até 2030.	Metas específicas de reciclagem estabelecidas para baterias de VE (50% até 2025).	Crédito fiscal para VE elegíveis com requisitos de minerais críticos e componentes fabricados na América do Norte.
<b>Metas de Recuperação de Materiais</b>	50% até 2027 e 80% até 2030 para lítio 90% até 2027 e 95% até 2030 para cobalto, cobre, chumbo e níquel	98% para níquel, cobalto e manganês 85% para lítio 97% para materiais de terras raras e outros materiais	Não mencionado.
Rastreabilidade das Baterias	Introdução de requisitos de rotulagem e informação, incluindo um passaporte de bateria e um código QR.	Sistema de rastreabilidade para baterias de VE, com ID único para rastreamento durante o ciclo de vida.	Não mencionado.
<b>Incentivos à Reciclagem</b>	Atualização das regulamentações com metas mais ambiciosas e estabelecimento de subsídios para pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de reciclagem.	Subsídios e incentivos fiscais para fabricantes de VE e baterias, além de políticas punitivas para não conformidade.	Crédito fiscal para VE elegíveis com requisitos de minerais críticos e componentes fabricados na América do Norte.
<b>Desafios</b>	Metas de recolha de baterias não incluem baterias de VE, e metas para reciclagem apenas incluem o peso médio da bateria.	Baixa taxa de reciclagem de baterias de VE em 2019, esforços contínuos para melhorar a reciclagem.	Fortalecimento das cadeias de abastecimento de minerais críticos e pesquisa em tecnologias de reciclagem de baterias.

## CAPÍTULO 2

### **METODOLOGIA**

Este capítulo descreve o processo utilizado para a realização da pesquisa sobre a gestão de resíduos de baterias de VE no contexto europeu. Para desenvolver esta pesquisa foi adotada uma abordagem metodológica de investigação mista, que combina o método de análise qualitativa e de análise quantitativa para a recolha e análise de informação. A abordagem mista foi adotada por permitir uma análise mais abrangente e detalhada do tema em questão.

Para a recolha de dados, foram utilizados dados secundários obtidos da plataforma CORDIS (Community Research and Development Information Service) da Comissão Europeia. A plataforma CORDIS é o principal repositório público da Comissão Europeia para a divulgação de informações e resultados de pesquisas científicas e projetos financiados pela UE, permitindo que investigadores, empresas e organizações tenham acesso a informações relevantes e atualizadas sobre o que está a ser desenvolvido na UE em termos de investigação e desenvolvimento. A plataforma CORDIS reúne informações sobre os projetos de investigação e desenvolvimento financiados pela UE, nomeadamente uma ficha técnica onde consta o título do projeto, uma breve descrição do projeto e dos objetivos a alcançar, o período de duração do mesmo, o programa da UE onde se enquadra, orçamento geral e financiamento obtido pela UE e informações sobre os parceiros envolvidos, tais como o país de origem, tipo de atividade executada, financiamento obtido pela UE e website. Num segundo separador, constam informações relativas aos resultados e impactos alcançados pelos projetos, que poderão incluir informações sobre instalações piloto, demonstradores, registo de patentes e protótipos, e acesso a relatórios e publicações, que surgiram no âmbito de projetos financiados pela UE.

#### **2.1. Recolha de dados**

A pesquisa na plataforma CORDIS da Comissão Europeia teve o propósito de identificar os projetos financiados pela UE que estivessem relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE. Considerou-se que o financiamento a esses projetos constitui uma política indireta que apoia e incentiva o desenvolvimento de novas soluções para uma boa gestão dos resíduos de baterias desse tipo, e foram selecionados para análise os projetos que atendessem a esses critérios.

O comando de pesquisa utilizado na base de dados foi o seguinte: `contenttype='project' AND ('recycle*' AND 'battery' AND ('vehicle' OR 'car'))`. No filtro “collection” foi selecionada apenas a opção “project”. A pesquisa devolveu 99 resultados no dia 6 de março de 2023.

Após a análise de conteúdo da informação de cada projeto, foram filtrados os projetos e 58 foram selecionados como correspondendo aos objetivos desta dissertação.

As informações sobre os 58 projetos selecionados foram recolhidas e organizadas numa folha de Excel. A folha de Excel contém informações detalhadas sobre cada projeto, incluindo as informações retiradas da ficha técnica dos projetos, nomeadamente o título do projeto, descrição e objetivo, o período de duração, programa da UE onde se enquadra, orçamento geral e financiamento obtido pela UE e parceiros envolvidos, e acrescentaram-se três colunas de análise a respeito dos resultados obtidos, impactos alcançados e classificação por tipo de ação. Para além disso, numa segunda folha foram incluídas informações sobre os parceiros de cada projeto, como país de origem, tipo de atividade executada, financiamento obtido pela UE e website.

## **2.2. Análise de dados**

Para analisar os dados referentes aos projetos financiados pela UE relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de baterias de VE foi realizada uma análise quantitativa com base numa análise do financiamento atribuído a cada país, entidade e ação. Esta análise foi realizada através do cruzamento da informação da base de dados criada em Excel, com o apoio de tabelas dinâmicas e os cálculos serão explicados à medida que se analisa cada parâmetro. Ainda a partir da análise da contida na base de dados foi usada a ferramenta Gephi 0.10.1 para análise da rede de projetos tendo em conta o país das organizações participantes nos diversos projetos.

Numa segunda fase, foi analisado o conteúdo dos documentos dos projetos, de forma a identificar as informações relevantes relacionadas aos resultados obtidos e impactos gerados pelos mesmos. Foram identificados e codificados os elementos-chave presentes nos documentos dos projetos relacionados às dimensões social, ambiental e económica.

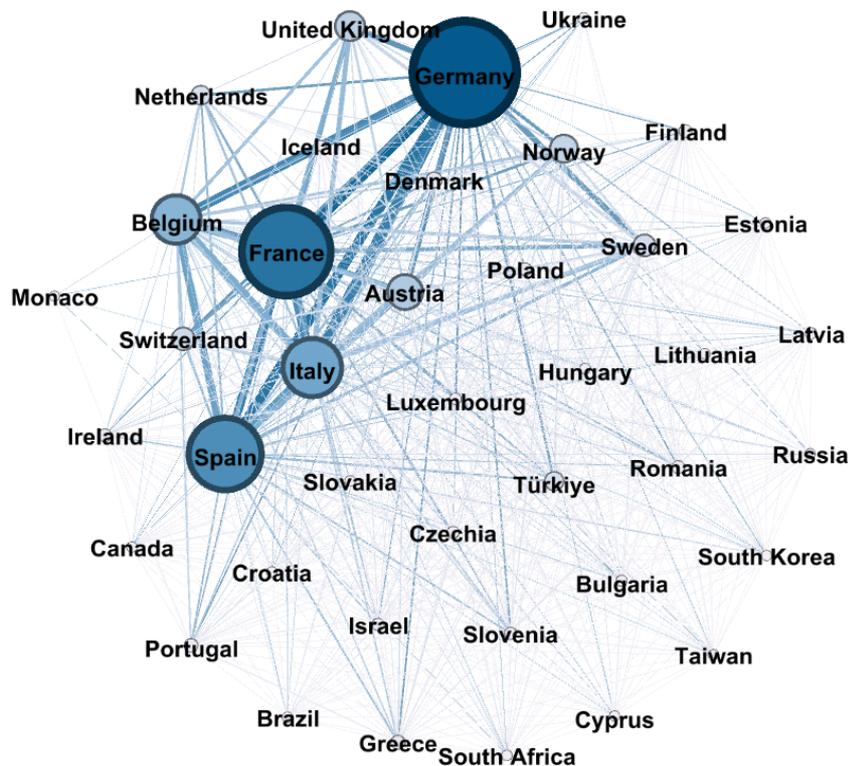
## CAPÍTULO 3

### RESULTADOS

Este capítulo irá ser dividido em duas subsecções de análise. Numa primeira parte, irá ser fornecida uma visão geral dos projetos, apresentando tendências com base nos dados recolhidos. Tal incluirá a análise de frequência de participações por país, por tipo de entidade e por tipo de ação, e análise do financiamento atribuído a cada país, entidade e ação. Numa segunda parte, irá ser analisado mais detalhadamente o conteúdo de cada projeto, nomeadamente através da análise de relatórios, documentos e websites dos projetos. Esta análise será minuciosa e terá como principal objetivo retirar conclusões sobre os resultados e impactos dos projetos e enquadrá-los nas dimensões social, ambiental e económica.

#### 3.1. Distribuição geográfica

*Figura 1- Rede*



A Figura 1 mostra a rede de países envolvidos em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e/ou reciclagem de resíduos de baterias de VE, financiados pela UE. Através da análise da rede, conseguimos visualizar todos os países envolvidos nos projetos, as relações entre eles e quais os países mais financiados.

As redes são conjuntos de nós conectados por arestas. Neste caso, cada país – correspondente à organização participante no projeto - está representado por um nó, e as arestas representam as ligações/ relações entre eles, isto é, cada aresta representa o envolvimento entre um determinado par de países no mesmo projeto. As ligações entre os atores são indiretas são direcionadas apenas num sentido, uma vez que este tipo de projetos envolve essencialmente a transferência de conhecimentos, e nesse caso a transferência de conhecimentos funciona nos dois sentidos para qualquer par de ligação.

A aparência da rede pode ser modificada conforme for mais conveniente para a análise. O layout escolhido foi o Fruchterman-Rheingold. O tamanho dos nós poderem são proporcionais ao financiamento atribuído pela EU nos projetos analisados, isto é, quanto maior a dimensão do círculo, mais financiamento foi atribuído a esse país no total dos projetos.

Com uma primeira observação da rede podemos desde logo retirar que os países que se destacam, isto é, que apresentam um tamanho do nó superior, são a Alemanha, a França, a Espanha, a Itália e a Bélgica, o que significa que estes são os cinco países que mais obtiveram financiamento da UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e/ou reciclagem de resíduos de baterias de VE. Com uma dimensão do nó inferior a este grupo de países, mas significativo em relação aos restantes, seguem-se a Áustria, o Reino Unido, a Noruega, a Suíça e a Suécia.

Por outro lado, a espessura das arestas que representam as ligações é proporcional ao número de participações em projetos entre um determinado par de países. Para uma melhor visualização dos resultados obtidos relativos ao número de relações entre um par de países, a Tabela 2 mostra as 10 díades que mais projetos realizaram em conjunto, revelando que a Alemanha e a França são o par de países que se relacionam mais vezes, participando conjuntamente em 35 projetos.

*Tabela 2- Díades que mais se relacionaram em projetos de redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

<b>Ranking</b>	<b>Díades</b>	<b>Número de projetos</b>
1	Alemanha, França	35
2	Alemanha, Itália	34
3	França, Itália	30
4	Alemanha, Espanha	30
5	Alemanha, Bélgica	29
6	Bélgica, França	27
7	Espanha, França	27
8	Bélgica, Itália	25
9	Espanha, Itália	25
10	Bélgica, Espanha	24

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

A Tabela 3 dá-nos a informação sobre os países que mais participaram e que obtiveram mais financiamento da UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e/ou reciclagem de resíduos de baterias de VE. A Tabela está ordenada no sentido decrescente do financiamento atribuído pela UE, isto é, do mais financiado para o menos. O número de participações foi calculado através da análise da nacionalidade dos parceiros dos projetos, inclusive do coordenador do projeto, o que significa que poderá haver mais de um parceiro da mesma nacionalidade no mesmo projeto. Foi considerado o número de participações, e não o número de projetos sediados em cada país, uma vez que o coordenador muitas vezes poderá não ser o ator principal do projeto e tal informação acabaria por ser insuficiente.

*Tabela 3- Top 10 países mais financiados pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

<b>Ranking</b>	<b>País</b>	<b>Número de participações</b>	<b>Financiamento UE (€)</b>
1	Alemanha	136	56 879 965,51
2	França	124	47 867 240,27
3	Espanha	86	38 104 670,35
4	Itália	90	29 450 480,53
5	Bélgica	64	23 456 995,45
6	Áustria	29	15 137 440,35
7	Reino Unido	41	11 763 582,83
8	Noruega	14	10 672 047,46
9	Suíça	13	7 577 123,34
10	Suécia	27	7 154 994,21

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

A análise dos projetos permitiu identificar que a Alemanha, a França, a Espanha, a Itália, a Bélgica, a Áustria, o Reino Unido, a Noruega, a Suíça e a Suécia são os 10 países que mais participaram em projetos relacionados com redução, reutilização, recuperação e/ou reciclagem de resíduos de baterias de VE, e os que receberam um maior montante financiado pela UE em projetos relacionados. Desta forma, podemos perceber quais os países mais envolvidos em projetos de redução, reutilização, recuperação e/ou reciclagem de resíduos de baterias de VE e a alocação dos recursos financeiros.

Através da análise da Tabela 3, podemos observar que participaram países com forte presença da indústria automóvel, como é o caso da Alemanha, França e Itália. Tal sugere uma relação direta entre a indústria automóvel e a necessidade de abordar a gestão adequada dos resíduos de baterias, especialmente em contexto de transição para VE.

A penetração de VE no mercado poderá ser outro indicador que influencia o envolvimento dos países em projetos relacionados com a gestão de resíduos de baterias de VE. A penetração de VE no mercado pode ser analisada através do “stock share” e da “sales share” de VE de cada país, conceitos anteriormente abordados no capítulo 1. Se um país tiver uma elevada penetração de VE tanto em termos de registo quanto de vendas, é provável que haja uma maior conscientização sobre os desafios da gestão de resíduos de baterias, poderá indicar um compromisso com a transição para a mobilidade elétrica e, conseqüentemente, uma maior participação em projetos relacionados a esse tema.

Com base na informação sobre o stock share e sales share de VE anteriormente analisada no capítulo 1, no Gráfico 1, é possível destacar a Noruega como um caso interessante em relação à participação em projetos relacionados à gestão de resíduos de baterias. A Noruega destaca-se como o país com os valores mais elevados tanto em termos de stock share quanto de sales share de VE. Esses indicadores sugerem que a Noruega possui uma penetração significativa de VE no mercado automóvel e uma elevada procura por VE. Como líder na adoção de VE, a Noruega poderá ter um interesse e um compromisso mais forte com a gestão adequada de resíduos de baterias de segunda vida. Para além disso, a experiência e expertise no campo dos VE podem contribuir para a participação em projetos relacionados a essa temática e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para a gestão dos resíduos de baterias.

Os restantes países da lista apresentam valores de stock share e sales share mais baixos em comparação com a Noruega. Nesses casos, a participação em projetos relacionados à gestão de resíduos de baterias poderá estar relacionada a outros fatores, como compromisso ambiental,

foco na transição para energias renováveis, arquitetura dos projetos europeus, políticas governamentais, iniciativas locais, infraestruturas, entre outros.

A Alemanha, a França, a Espanha e a Itália são os países que demonstram um maior envolvimento e investimento em projetos relacionados à gestão de resíduos de baterias de VE. A Alemanha, com 136 participações e um financiamento da UE de 56.879.965,51 euros, destaca-se como o país com o maior número de participações e maior montante financiado pela UE. A forte economia alemã, a indústria automóvel, o compromisso com a sustentabilidade e o investimento em pesquisa e desenvolvimento, poderão ser fatores que impulsionaram a participação em projetos de gestão de resíduos de baterias de VE; segue-se a França com 124 participações e um financiamento da UE de 47.867.240,27 euros, e que também se destaca como um país fortemente envolvido nessas iniciativas. A França possui um setor industrial diversificado e uma forte ênfase em inovação tecnológica, o que pode contribuir para seu envolvimento em projetos deste tipo; a Espanha, com 86 participações e um financiamento da UE de 38.104.670,35 euros, a Espanha mostra uma participação significativa nesse campo. A Espanha possui um setor de energia renovável em crescimento e tem se esforçado para promover a transição para uma economia de baixo carbono, o que pode impulsionar seu envolvimento em projetos relacionados à gestão de resíduos de baterias; e a Itália, com 90 participações e um financiamento da UE de 29.450.480,53 euros. A Itália possui uma indústria automóvel significativa e uma cultura de inovação, o que pode explicar seu papel ativo na área.

### **3.2. Tipo de entidade**

Os projetos financiados pela UE relacionados com a redução, reciclagem, reutilização e recuperação de resíduos de baterias de VE de segunda vida contam com a participação de diferentes entidades, cada uma contribuindo com conhecimentos e recursos específicos. Essas entidades incluem entidades privadas, organizações de investigação, estabelecimentos de ensino superior ou secundário, organismos públicos, entre outros.

A natureza multidisciplinar dos projetos exige uma abordagem holística, na qual diversas partes interessadas operam de forma colaborativa e complementar de forma a alcançar os objetivos propostos e a impulsionar a inovação nesse campo. Para além disso, a diversidade de participação é benéfica, pois traz diferentes perspetivas, experiências e conhecimentos para os projetos, possibilitando uma abordagem mais abrangente para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para a gestão desses materiais.

A análise do financiamento atribuído a cada entidade no total dos projetos relacionados com a redução, reciclagem, reutilização e recuperação de resíduos de baterias de VE de segunda

vida, pretende identificar qual o tipo de organização que se destaca no desenvolvimento e investigação do tema. Na plataforma CORDIS as categorias de atividades relacionadas a projetos de redução, reciclagem, reutilização e recuperação de resíduos de baterias de VE em que as instituições se dividem são: *Entidades Privadas com Fins Lucrativos (excluindo Estabelecimentos de Ensino Superior ou Secundário)*, isto é, empresas privadas que visam obter lucro financeiro com suas atividade; *Organizações de Investigação*, centros de pesquisa ou outras organizações similares que realizam atividades de pesquisa e inovação (poderão incluir universidades); *Estabelecimentos de Ensino Superior ou Secundário*, estabelecimentos de ensino, geralmente universidades e institutos que estão envolvidos em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias; *Organismos Públicos (excluindo Organizações de Investigação e Estabelecimentos de Ensino Secundário ou Superior)*, organizações governamentais que se concentram principalmente em atividades de pesquisa; *Outros*, refere-se a entidades que não se enquadram nas categorias acima mencionadas, como organizações sem fins lucrativos, associações, entre outros. Apesar das diferentes designações de entidades, todas elas se destacam pela componente de investigação.

A Tabela 4 mostra o número de participações de cada tipo de entidade no total dos projetos e o financiamento total atribuído a cada tipo de entidade. É importante ressaltar que o número de participações indicado para cada tipo de entidade não reflete necessariamente a quantidade de entidades individuais envolvidas nos projetos financiados pela UE. Esses números representam o total de participações, o que significa que uma mesma empresa ou entidade pode estar envolvida em mais de um projeto. Tal será perceptível com o avançar da análise de cada categoria de entidade em particular, onde se procederá à identificação das organizações que mais se destacaram.

*Tabela 4- Número de participações e financiamento da UE por tipo de entidade*

<b>Tipo de entidade</b>	<b>Número de participações</b>	<b>Financiamento UE (€)</b>
Entidades Privadas com Fins Lucrativos	324	111 646 636,50
Organizações de Investigação	172	102 884 342,70
Estabelecimentos de Ensino Superior ou Secundário	109	49 158 509,38
Organismos Públicos	38	11 112 721,63
Outro	26	4 633 937,56
(em branco)		302 973,34
<b>Total</b>	<b>669</b>	<b>279 739 121,00</b>

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

Pela observação da Tabela 4, verificamos que, dentre os tipos de entidades envolvidas, as *Entidades Privadas com Fins Lucrativos* obtiveram o maior montante total de financiamento, no valor de 111.646.636,50 euros, o que pode ser atribuído ao facto de também contarem com o maior número de participações em projetos, totalizando 324 participações, das quais constavam 252 entidades privadas distintas.

O destaque das empresas em projetos relacionados com este tema é compreensível devido ao seu interesse comercial e infraestruturas disponíveis, para além de procurarem cumprir com as regulamentações ambientais e demonstrar responsabilidade corporativa. Essas entidades têm capacidade financeira para se envolverem nos projetos e investir em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias inovadoras, implementar processos eficientes de reciclagem, promover estratégias de reutilização e recuperação de materiais ou gerar produtos mais eficientes. São ainda fundamentais para a demonstração e exploração comercial dos resultados dos projetos de investigação. Como resultado, contribuem significativamente para uma economia circular mais sustentável no setor de gestão de resíduos de baterias de VE.

No entanto, é importante ressaltar que os outros tipos de entidades também desempenham um papel fundamental nesses projetos. As *Organizações de Investigação* contribuem com conhecimento científico e tecnológico especializado, impulsionando a geração de soluções técnicas e avanços contínuos no campo; os *Estabelecimentos de Ensino Superior ou Secundário* fornecem conhecimento académico e recursos educacionais; e os *Organismos Públicos* podem desempenhar um papel regulatório. As *Organizações de Investigação*, foram a segunda categoria de entidade com mais destaque, contando com 172 participações em projetos e uma contribuição total da UE no valor de 102.884.342,70 euros, seguidas dos *Estabelecimentos de Ensino Superior ou Secundário* com 109 participações em projetos e uma contribuição total da UE no valor de 49.158.509,38 euros; seguidas das restantes categorias (*Organismos Públicos*, 38 participações em projetos e contribuição total da UE no valor de 11.112.721,63 euros e *Outros*, 26 participações e contribuição total da UE no valor de 4.633.937,56 euros).

Ao analisar individualmente as organizações mais financiadas pela UE no geral dos projetos, independentemente do tipo de entidade a que pertencem, é evidente uma predominância das instituições de pesquisa e desenvolvimento. Tais organizações, como a Fraunhofer Gesellschaft Zur Forderung Der Angewandten Forschung EV, o Commissariat A L Energie Atomique Et Aux Energies Alternatives, o AITÁustrian Institute of Technology GMBH e a Fundacion Tecnalia Research & Innovation, destacam-se pelo elevado montante de financiamento recebido. Em quinto lugar das organizações mais financiadas está o Karlsruher

Institut Fuer Technologie (Instituto de Tecnologia de Karlsruhe), universidade técnica estatal da Alemanha; seguem-se o Forschungszentrum Julich GmbH, instituto de investigação em Jülich, Alemanha, a SAFT, entidade privada, Centro Ricerche FIAT SCPA, organização de investigação italiana, Zentrum Fur Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Wurttemberg, organização de investigação alemã e a Fundacion Cidetec, organização de investigação espanhola.

*Tabela 5- Top 10 organizações mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

Ranking	Organização	Tipo de entidade	País	Número de participações	Financiamento UE (€)
1	Fraunhofer Gesellschaft Zur Forderung Der Angewandten Forschung EV	Investigação	Alemanha	14	11 523 885,90
2	Commissariat A L Energie Atomique Et Aux Energies Alternatives	Investigação	França	16	10 706 754,33
3	AITÁustrian Institute of Technology GMBH	Investigação	Áustria	10	7 630 383,41
4	Centro Ricerche Fiat SCPA	Investigação	Itália	12	5 027 089,68
5	Fundacion Tecnia Research & Innovation	Investigação	Espanha	6	4 918 474,00
6	Karlsruher Institut Fuer Technologie	Ensino Superior	Alemanha	10	4 507 982,48
7	Forschungszentrum Julich GmbH	Investigação	Alemanha	7	4 373 947,42
8	SAFT	Entidade Privada	França	4	4 265 059,25
9	Zentrum Fur Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Wurttemberg	Investigação	Alemanha	7	4 023 947,50
10	Fundacion Cidetec	Investigação	Espanha	7	3 550 473,21

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

Através da análise da tabela 6, podemos observar um conjunto de atores interessante, onde estão representados os vários stakeholders. De entre as empresas que receberam um maior montante financiado pela UE, participaram grandes empresas estabelecidas, como a Renault, empresa líder da indústria automóvel na fabricação de veículos, fundada em 1899; a Elkem, fundada em 1904 na Noruega, reconhecida como um dos principais fornecedores mundiais de materiais à base de silicone; fabricante de bateria, a SAFT, empresa Francesa especializada na

produção de baterias fundada em 1918, e adquirida pela Total S.A., empresa global de energia, em 2016; a Infineon Technologies, empresa de microeletrónica, líder mundial em semicondutores, powersystems e internet das coisas (IOT) para a indústria automóvel, com 45% do seu volume de negócios proveniente da indústria automóvel; empresas líderes na reciclagem de materiais, nomeadamente de metais raros, como a Umicore, fundada em 1805, com uma vasta experiência nas áreas química e metalúrgica e em tecnologia de reciclagem; e a ACCUREC-RECYCLING GmbH, empresa alemã fundada em 2011, especializada no setor de reciclagem de baterias, incluindo baterias de íon-lítio, e acumuladores usados, que visam um processo sustentável de processamento de baterias usadas, a separação de componentes das baterias e a recuperação de materiais valiosos para a sua reintrodução na cadeia de abastecimento, contribuindo para a diminuição da dependência de matérias-primas virgens e contribuindo para a economia circular; fornecedor de componentes, a Valeo Systemes Thermiques SAS, fundada em 1984; empresa química industrial no ramo de líquidos iónicos, a Solvionic, criada em 2003; e empresas mais recentes, com atividades relacionadas com a indústria automóvel, e com objetivo de apoiar a mobilidade elétrica rodoviária, como a Moteg GmbH, empresa de engenharia criada em 2014, financiada pelo European Green Deal; e a AVILOO, uma start-up criada em 2017 que desenvolveu um teste de verificação do estado da bateria de VE.

*Tabela 6- Top 10 Entidades Privadas com Fins Lucrativos mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

<b>Ranking</b>	<b>Entidades Privadas com Fins Lucrativos</b>	<b>País</b>	<b>Número de participações</b>	<b>Financiamento UE (€)</b>
1	SAFT	França	4	4 265 059,25
2	ACCUREC-RECYCLING GMBH	Alemanha	7	2 906 456,25
3	AVILOO GMBH	Áustria	1	2 228 847,25
4	VALEO SYSTEMES THERMIQUES SAS	França	2	2 198 593,73
5	ELKEM AS	Noruega	3	2 183 435,25
6	SOLVIONIC	França	5	1 995 072,50
7	UMICORE	Bélgica	7	1 936 337,50
8	RENAULT SAS	França	1	1 791 985,00
9	INFINEON TECHNOLOGIES AG	Alemanha	3	1 736 961,75
10	MOTEG GMBH	Alemanha	1	1 539 212,50

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

Como fora anteriormente mencionado, a Fraunhofer Gesellschaft Zur Forderung Der Angewandten Forschung EV, o Commissariat A L Energie Atomique Et Aux Energies Alternatives, o AIT Austrian Institute of Technology GMBH e a Fundacion Tecnalia Research

foram as organizações que obtiveram mais financiamento pela UE no geral dos projetos, classificando-se como organizações de investigação. Tal indica uma predominância da componente de investigação neste tipo de projetos.

*Tabela 7- Top 10 Organizações de Investigação mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

<b>Ranking</b>	<b>Organizações de Investigação</b>	<b>País</b>	<b>Número de participações</b>	<b>Financiamento UE (€)</b>
1	Fraunhofer Gesellschaft Zur Forderung der Angewandten Forschung EV	Alemanha	14	11 523 885,90
2	Commissariat A L Energie Atomique Et Aux Energies Alternatives	França	16	10 706 754,33
3	AitAustrian Institute of Technology GmbH	Áustria	10	7 630 383,41
4	Centro Ricerche FIAT SCPA	Itália	12	5 027 089,68
5	Fundacion Tecnia Research & Innovation	Espanha	6	4 918 474,00
6	Forschungszentrum Julich GmbH	Alemanha	7	4 373 947,42
7	Zentrum Fur Sonnenenergie- Und Wasserstoff-Forschung Baden-Wurttemberg	Alemanha	7	4 023 947,50
8	Fundacion Cidetec	Espanha	7	3 550 473,21
9	Ikerlan S. Coop	Espanha	3	2 724 145,00
10	Fundacio Eurecat	Espanha	2	2 681 062,50

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

Pela observação da tabela 7 verificamos que das 10 organizações de investigação que obtiveram um maior montante financiado pela UE no total dos projetos, três localizam-se na Alemanha e na Espanha, duas na França, uma na Áustria e Itália.

A Fraunhofer-Gesellschaft, fundada em 1949, é uma organização alemã de grande influência, líder mundial em pesquisa aplicada. A organização alcançou um volume financeiro de €3,0 biliões em 2021 e opera atualmente com 76 institutos e instalações de pesquisa na Alemanha. Os serviços que a organização presta abrangem diversas áreas, mas destacam-se pelo seu compromisso com os objetivos de neutralidade carbónica e desenvolvimento de inovações sustentáveis no setor da energia. Com parcerias estratégicas na indústria, a Fraunhofer-Gesellschaft opera com mercados líderes que impulsionam a vantagem competitiva global do país através da inovação. Reconhecem que a economia da mobilidade é um pilar central da economia alemã e europeia, e que os progressos na investigação e inovações nesse campo da tecnologia se refletirão no poder económico da Alemanha.

O Commissariat A L Energie Atomique Et Aux Energies Alternatives (CEA) é uma instituição de pesquisa estatal francesa, e um ator importante na investigação. Fundado em 1946, desempenha um papel fundamental na pesquisa, inovação e desenvolvimento de

tecnologias em energia nuclear e renovável, eficiência energética e tecnologias de baixo carbono. O seu orçamento anual rondou os €5,6 biliões em 2021, conta com 9 centros de pesquisa, mais de 700 parceiros industriais, 228 startups e foi o primeiro instituto de pesquisa francês a depositar patentes, o que significa que o CEA é líder no registo de propriedade intelectual por meio de patentes na França. Isso demonstra a capacidade da organização em inovar e desenvolver tecnologias de ponta, protegendo-as legalmente para promover a transferência de conhecimento e a comercialização das suas descobertas. Em 2021, o CEA registou um total de 710 depósitos prioritários de patentes em seu nome e 7.269 famílias de patentes ativas. Uma família de patentes inclui todas as patentes relacionadas a uma mesma invenção ou descoberta, mas registadas em diferentes jurisdições ou escritórios de patentes. Ter um alto número de famílias de patentes ativas demonstra a abrangência e a importância das contribuições do CEA para o avanço científico e tecnológico em múltiplas áreas.

Já o AIT- Austrian Institute of Technology GmbH é a maior Organização de Pesquisa e Tecnologia (RTO) da Áustria e um player internacional importante em muitas das áreas de pesquisa que cobre. Relativamente a tecnologias de bateria, desenvolvem a sua pesquisa em torno de toda a cadeia de valor, desde a otimização de materiais até a tecnologia de produção sustentável em escala semi-industrial, tecnologia de sensores para monitoramento de células e testes de baterias, e design de sistemas.

Por sua vez, a TECNALIA é o maior centro de investigação aplicada e desenvolvimento tecnológico em Espanha; a Forschungszentrum Julich GmbH, uma das maiores instituições de investigação interdisciplinar da Europa. O Centro Ricerche FIAT SCPA faz parte do Grupo Fiat Chrysler Automobiles (FCA). O Centro Ricerche FIAT, também conhecido como CRF, é o centro de pesquisa e desenvolvimento do grupo e tem como objetivo impulsionar a inovação tecnológica no setor automóvel.

*Tabela 8- Top 10 Estabelecimentos de Ensino Superior mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

<b>Ranking</b>	<b>Estabelecimentos de Ensino Superior</b>	<b>País</b>	<b>Número de participações</b>	<b>Financiamento UE (€)</b>
1	Karlsruher Institut Fuer Technologie	Alemanha	9	4 205 009,14
2	Vrije Universiteit Brussel	Bélgica	6	3 453 926,75
3	Rheinisch-Westfaelische Technische Hochschule Aachen	Alemanha	7	3 127 654,21
4	Eidgenossische Materialprufungs- Und Forschungsanstalt	Suíça	5	3 065 712,50
5	Politecnico di Torino	Itália	5	2 058 137,25
6	Technische Universitaet Muenchen	Alemanha	2	2 020 087,50
7	Chalmers Tekniska Hogskola AB	Suécia	4	1 958 205,00
8	Universita Degli Studi Di Roma La Sapienza	Itália	3	1 788 619,00
9	Westfaelische Wilhelms-Universitaet Muenster	Alemanha	3	1 713 961,75
10	Universiteit Van Amsterdam	Holanda	1	1 500 000,00

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

As instituições de ensino destacam-se neste tipo de projeto pela sua componente de investigação. A sua participação nos projetos contribuiu para a investigação de soluções para a mobilidade elétrica.

Dos Estabelecimentos de Ensino, destacam-se as universidades alemãs, nomeadamente a Karlsruher Institut Fuer Technologie (KIT), universidade técnica estatal da Alemanha. Esta universidade demonstra um particular interesse em temas relacionados com a mobilidade, como evidenciado pela criação do KIT Mobility Systems Center, que visa aprimorar competências na área do transporte terrestre, com foco particular no desenvolvimento de soluções para uma mobilidade elétrica sustentável.

*Tabela 9- Top 10 Organismos Públicos mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

<b>Ranking</b>	<b>Organismos Públicos</b>	<b>País</b>	<b>Número de participações</b>	<b>Financiamento UE (€)</b>
1	Narodowe Centrum Badan I Rozwoju	Polónia	1	919 465,46
2	Saechsisches Staatsministerium Fur Wissenschaft, Kultur Und Tourismus	Alemanha	1	919 465,46
3	Verket For Innovationssystem	Suécia	1	919 465,46
4	Norges Forskningsrad	Noruega	1	776 189,96
5	Technologicka Agentura Ceske Republiky	República Checa	1	632 914,47
6	Agence Nationale De La Recherche	França	1	632 914,47
7	Agencia Estatal De Investigacion	Espanha	1	511 061,67
8	Service Public De Wallonie	Bélgica	1	346 363,49
9	Suomen Akatemia	Finlândia	1	346 363,49
10	Innovationsfonden	Dinamarca	1	346 363,49

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

O Narodowe Centrum Badan I Rozwoju (NCBR), ou Centro Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento da Polónia, é uma agência governamental criada em 1 de julho de 2007 responsável por apoiar a pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico nesse país. O NCBR apoia projetos de pesquisa e inovação; a construção de infraestrutura de pesquisa, como laboratórios e centros de pesquisa; promove a cooperação internacional em pesquisa e desenvolvimento; e fornece serviços de consultoria a empresas e treino a investigadores; embora o seu foco seja a pesquisa e desenvolvimento.

O Sächsisches Staatsministerium für Wissenschaft, Kultur und Tourismus (SMWK) é o Ministério do Estado da Saxônia responsável pela formulação e implementação de políticas públicas nas áreas da ciência, cultura e turismo. É uma das nove secretarias de estado do governo da Saxônia, com sede em Dresden. Algumas das principais responsabilidades do SMWK incluem o apoio à pesquisa e desenvolvimento tecnológico em universidades, institutos de pesquisa e outras instituições científicas.

O Verket för innovationssystem (Vinnova), ou Agência Sueca de Sistemas de Inovação, é uma instituição governamental responsável por promover a inovação na Suécia. A Vinnova apoia projetos de pesquisa e inovação, bem como a construção de infraestrutura de inovação, como incubadoras; promove a cooperação internacional em inovação; e fornece serviços de consultoria e treinamento a empresas e organizações. O trabalho da Vinnova tem semelhanças com o da NCBR, no entanto o foco da Vinnova é a inovação, desde a pesquisa até ao desenvolvimento de protótipos e de novos produtos e serviços. A Vinnova oferece uma gama mais ampla de serviços de consultoria, desde mentoria para empresas em estágio inicial, startups e empresas estabelecidas.

A Norges Forskningsråd (Conselho de Pesquisa da Noruega) é uma entidade governamental norueguesa responsável por promover a pesquisa e a inovação na Noruega. À semelhança das organizações anteriores, apoia projetos de pesquisa e inovação, a construção de infraestrutura de pesquisa, a cooperação internacional em pesquisa e desenvolvimento e oferece uma gama ampla de serviços de consultoria. O seu foco é na pesquisa e inovação.

A Technologická agentura České republiky (TA ČR), ou Agência Tecnológica da República Checa, é uma instituição governamental checa responsável por promover a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico nesse país. A TA ČR é uma agência mais focada em pesquisa e desenvolvimento, e oferece um número menor de serviços de consultoria e treinamento do que o Forskningsrådet e a Vinnova.

A Agence Nationale de la Recherche (ANR), ou Agência Nacional de Pesquisa da França, é uma agência governamental francesa com o foco na promoção da pesquisa científica e o desenvolvimento tecnológico na França. É a entidade que oferece uma gama de serviços mais abrangente em áreas de pesquisa e inovação.

A Agencia Estatal de Investigación (AEI) é uma instituição governamental espanhola. A AEI é semelhante às outras agências governamentais de pesquisa e inovação mencionadas anteriormente, no entanto, a AEI tem um foco específico em áreas de interesse estratégico para a Espanha, como energia, saúde e inteligência artificial.

O Service Public de Wallonie (SPW), ou Serviço Público da Valónia, é uma agência governamental da Valónia, na Bélgica. O SPW tem um foco específico nas necessidades da Valónia, como o desenvolvimento de tecnologias limpas e sustentáveis.

A Suomen Akatemia, ou Academia da Finlândia, é uma organização que financia pesquisas científicas de elevada qualidade; e por fim a Innovationsfonden (Fundo de Inovação), instituição dinamarquesa, também apoia projetos de pesquisa, no entanto tem um foco específico na promoção da inovação.

No âmbito dos projetos financiados pela UE, todos os organismos públicos mencionados estiveram envolvidos no projeto ERA-NET, um projeto de grande dimensão que envolveu 53 parceiros, relacionado com pesquisa e inovação em materiais e tecnologias de bateria, suportando o *European Green Deal*. O projeto tem como objetivo apoiar o desenvolvimento de tecnologias de bateria mais sustentáveis e eficientes, o que é importante para o cumprimento do *European Green Deal*, que visa tornar a Europa neutra em emissões até 2050. Este projeto atraiu um número maior de entidades públicas em relação aos restantes projetos.

A Tabela 10 apresenta as outras entidades mais relevantes nestes projetos, em termos de financiamento. O European Copper Institute (ECI) é uma organização sem fins lucrativos que representa a indústria do cobre na Europa, fundado em 1965 e com sede em Londres. A sua missão é promover o uso do cobre na Europa, nomeadamente através do financiamento de investigação sobre novas aplicações. O ECI tem mais de 100 membros, que representam todos os setores da indústria do cobre, desde a mineração até à manufatura. No contexto dos projetos analisados, o ECI participou no projeto HELIOS, que desenvolveu um novo conceito de bateria modular de alto desempenho para serviços de eletromobilidade urbana sustentável, de aplicação a carros elétricos de média dimensão a transportes públicos, como autocarros elétricos.

*Tabela 10- Top 10 Outras Entidades mais financiadas pela UE em projetos relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE*

Ranking	Outros	País	Número de participações	Financiamento UE (€)
1	European Copper Institute	Reino Unido	1	667 375,00
2	Osterreichische Forschungsforderungsgesellschaft Mbh	Áustria	1	632 914,44
3	European Federation for Welding Joining and Cutting	Bélgica	2	586 875,00
4	L'association Des Fabricants Europeens D'accumulateurs Automobiles Etindustriels - EUROBAT	Bélgica	1	371 250,00
5	Erion Energy	Itália	1	349 375,00
6	Sig De Raee Y Pilas Sociedad Limitada	Espanha	1	280 757,50
7	Fondazione Icons	Itália	1	263 750,00
8	MATRES SCRL (Third-Party)	Itália	1	207 030,77
9	Mov'eo	França	1	201 000,00
10	Pole Emc2	França	1	148 751,25

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

A Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG) é uma organização governamental austríaca que oferece financiamento para a investigação, o desenvolvimento e a inovação relacionados com as empresas. A FFG foi fundada em 2004 e tem sede em Viena, Áustria e foi o coordenador do projeto de grande dimensão ERA-NET.

A European Federation for Welding Joining and Cutting (EWF) é uma organização sem fins lucrativos que representa a indústria da soldagem, união e corte na Europa. A EWF foi fundada em 1953 e tem sede em Bruxelas, Bélgica. A EWF tem mais de 40 membros, que incluem associações nacionais de soldagem, institutos de pesquisa e empresas da indústria da soldagem. Participou nos projetos ALBATROS (*Advanced Light-weight Battery systems Optimized for fast charging, Safety, and Second-life applications*) e no projeto FLAMINGO (*Fabrication of Lightweight Aluminium Metal matrix composites and validation In Green vehicles*).

O EUROBAT, L'association Des Fabricants Europeens D'accumulateurs Automobiles Etindustriels, é a principal associação europeia de baterias recarregáveis. A Eurobat foi fundada em 1989 e tem sede em Bruxelas, Bélgica. Participou no projeto FREE4LIB (*Feasible Recovery of Critical Raw Materials Through a New Circular Ecosystem for A Li-Ion Battery Cross-Value Chain in Europe*) que se concentrou na recuperação de matérias-primas críticas de baterias de lítio-íon usadas, como lítio, cobalto e níquel, e no desenvolvimento de um modelo de negócios para o novo ecossistema circular da cadeia de valor das baterias de lítio-íon na Europa. O modelo de negócios visa garantir que o novo processo de recuperação seja economicamente viável.

A Erion Energy é um consórcio italiano sem fins lucrativos que gere o sistema de recolha e reciclagem de resíduos de pilhas e baterias na Itália. O consórcio foi fundado em 2000 e tem sede em Milão, Itália. A sua missão é garantir que os resíduos de pilhas e baterias são recolhidos e reciclados de forma segura e eficiente, recorrendo a uma rede de pontos de recolha, que incluem supermercados, lojas de ferragens e centros de reciclagem. A Erion Energy também trabalha para promover a conscientização sobre a importância da reciclagem de pilhas e baterias, realizando campanhas educativas e colaborando com organizações ambientais. Também participou no projeto FREE4LIB.

Também participante no projeto FREE4LIB, a Sig De Raee Y Pilas Sociedad Limitada, ou SIGRE, é um consórcio espanhol sem fins lucrativos que gere o sistema de recolha e reciclagem de resíduos de pilhas e baterias na Espanha. O consórcio foi fundado em 1998 e tem sede em Madrid.

A Fondazione Icons é uma fundação italiana sem fins lucrativos que promove a inovação e o empreendedorismo. A fundação foi fundada em 2010 e tem sede em Milão, Itália. A missão da Fondazione Icons é apoiar o desenvolvimento de novas empresas e tecnologias, nomeadamente realiza incubação e financiamento de start-ups. Participou no projeto ASTRABAT (*All Solid-state Reliable Battery for 2025*).

O MATRES SCRL é uma empresa italiana de pesquisa e desenvolvimento de materiais para baterias. A empresa foi fundada em 2015 e tem sede em Nápoles, Itália. Também participou no projeto FLAMINGo.

O Mov'eo é um consórcio francês sem fins lucrativos que também gere o sistema de coleta e reciclagem de resíduos de pilhas e baterias, e também participa no projeto FREE4LIB. O consórcio foi fundado em 2000 e tem sede em Paris, França.

Por fim, o Pôle EMC2 é um cluster de competitividade francês que reúne empresas, centros de pesquisa e ensino superior, e outros atores do setor de fabricação. O cluster foi fundado em 2005 e tem sede em Bouguenais, França. Participou no projeto SUSPENS (*Sustainable structural sandwiches and hollow composites parts for automotive, boat and aerospace markets*).

### **3.3. Tipo de ação**

A análise por categoria de projeto pretende distinguir se os projetos financiados pela UE são relacionados com atividades de redução, reutilização, reciclagem e/ou recuperação de resíduos de baterias de VE. Esta categorização resultou de um processo de categorização dos projetos, após a análise da sua descrição. De referir que um projeto pode ter sido categorizado em mais do que uma categoria.

Na categoria “Redução” são considerados projetos que têm como impacto direto a diminuição da quantidade de resíduos gerados por baterias de VE. Projetos que desenvolvam novas tecnologias de baterias, como baterias de estado sólido ou outros avanços tecnológicos que aumentam a eficiência energética, são considerados como “Redução” pois baterias mais eficientes durarão mais tempo e precisarão de substituição com menos frequência. Foram também considerados projetos de “Redução” os projetos que reduzam a quantidade de materiais usados nas baterias, a substituição de materiais menos sustentáveis como o cobalto, por alternativas mais ecológicas, e a incorporação de materiais reciclados na fabricação de baterias, ao contribuírem para a redução de recursos não renováveis. Para além disso, também foram considerados nesta categoria projetos que envolvam estudos de ciclo de vida das baterias que

permitam identificar oportunidades de melhoria nas várias etapas as etapas, desde a extração de matérias-primas à otimização do processo produtivo; e investigações sobre materiais ideias e mais eficientes para a produção generalizada de baterias, no sentido de desenvolver baterias mais duráveis, eficientes e sustentáveis.

Foram considerados projetos de “Reutilização”, os projetos que se concentrem em dar uma segunda vida às baterias de VE após o seu uso em automóveis, por exemplo, usando-as para armazenamento de energia estacionária; que analisem a viabilidade técnica e económica para a comercialização de baterias de segunda vida.

Os projetos relacionados com a “Reciclagem” de baterias de VE, envolvem a criação de processos eficientes de desmontagem de baterias usadas e recuperação de materiais constituintes das baterias, bem como a avaliação e demonstração da viabilidade de reciclagem de baterias.

Projetos de “Recuperação” serão mais direcionados para projetos de recuperação de recursos e matérias-primas.

Observamos (Tabela 11) que a categoria "Redução" tem o maior número de projetos, com um total de 44 projetos, o que representa aproximadamente 76% do total dos projetos. Para além disso, a categoria "Redução" também recebeu o maior montante de financiamento da UE, totalizando €225.093.126,68. Tal indica um foco significativo na implementação de medidas e estratégias para reduzir a quantidade de resíduos de baterias de VE usadas na Europa.

No contexto dos projetos relacionados com resíduos de baterias de VE, é possível inferir que a investigação financiada pela UE dá ênfase a desenvolvimentos tecnológicos e estratégias que visam prolongar a vida útil das baterias, maximizar sua eficiência energética, reduzir a necessidade de substituição frequente e, conseqüentemente, minimizar a quantidade de resíduos de baterias descartadas.

*“Recycling is and will be the last stage of the life cycle of a battery pack, due to the incentive of governments for a circular economy, aiming at reducing as much as possible waste generation.” (Final Report OPERA4FEV project)*

A Europa tem enfrentado desafios relacionados à dependência de metais raros, tal como mencionado no Capítulo 1. A Europa não tem domínio de terras raras, e depende da importação desses minerais de outras regiões do mundo, o que cria vulnerabilidade na cadeia de abastecimento. A reciclagem permite a recuperação de materiais valiosos presentes nas baterias usadas, contribui para a economia circular, reduzindo a necessidade de extração de recursos naturais e minimizando a dependência de importações.

A análise dos projetos financiados pela UE e relacionados com a reciclagem de baterias de VE indica que a investigação na reciclagem de baterias de VE é uma área pouco desenvolvida na Europa, em detrimento da redução que é uma alternativa superior na hierarquia de gestão de resíduos. Contudo, tal pode sugerir uma incapacidade para desenvolver novas soluções (incluindo tecnologias e modelos de negócio) para lidar com o crescente número de baterias em fim de vida nos próximos anos.

Os projetos relacionados com a reutilização de baterias surgem com menos frequência e são sobretudo relacionados com a aplicação de baterias de segunda vida em sistemas estacionários de energia, e a análise de viabilidade técnica e monetária para comercialização de baterias de segunda vida.

O Anexo-A contém uma tabela com informações relativamente ao financiamento por tipo de ação por país.

*Tabela 11- Número de projetos e financiamento por tipo de ação (Redução, Reutilização, Reciclagem, Recuperação)*

<b>Tipo de ação</b>	<b>Número de projetos</b>	<b>Financiamento UE (€)</b>
Redução	44	225 093 126,68
Reutilização	2	100 000,00
Reciclagem	2	50 000,00
Recuperação	1	7 522 490,63
Reciclagem, Recuperação	2	3 588 506,00
Recuperação, Redução	1	4 995 848,45
Redução, Reciclagem	1	3 332 298,00
Reutilização, Reciclagem, Recuperação	3	24 455 705,76
Redução, Reutilização, Recuperação, Reciclagem	2	15 050 000,00
<b>Total</b>	<b>58</b>	<b>279 739 121,00</b>

Fonte: Plataforma CORDIS da União Europeia (2022). Cálculos realizados pela autora.

### **3.4. Análise dos resultados obtidos e impactos alcançados pelos projetos**

No bloco de análise que se segue, irá ser abordado o conteúdo dos documentos dos projetos, de forma a identificar as informações relevantes relacionadas aos resultados obtidos e impactos gerados pelos mesmos. Foi realizado uma análise de conteúdo que teve por base um processo de identificação e codificação dos elementos-chave presentes nos documentos dos projetos relacionados às dimensões social, ambiental e económica. A codificação foi realizada manualmente, analisando cada projeto individualmente. Numa primeira etapa, destacaram-se de forma geral os resultados e impactos obtidos em cada projeto e, em seguida, procurou-se categorizar os impactos e resultados que se repetiam nos projetos. A ideia é organizar de maneira mais clara e visual os resultados e impactos dos projetos, mesmo que cada projeto seja

um caso único. Procurou-se encontrar padrões e criar códigos que representassem esses padrões de forma precisa.

#### 3.4.1. Análise dos resultados

Para uma melhor compreensão e organização dos projetos, após uma detalhada análise do seu conteúdo, nomeadamente dos seus objetivos e resultados esperados, estes foram divididos em três categorias, permitindo uma análise mais clara de como cada um deles contribui para diferentes aspetos da mobilidade elétrica sustentável:

- 1. Novas tecnologias de bateria:** Esta categoria abrange projetos que se concentram na pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de baterias inovadoras. Embora não sejam diretamente programas de reciclagem, reutilização ou recuperação de materiais, estes projetos têm um impacto significativo na redução de resíduos de baterias de VE e na sustentabilidade das baterias. Os objetivos deste tipo de projeto poderão incluir o desenvolvimento de baterias com um design sustentável, aumento da eficiência e durabilidade da bateria e uso de materiais recicláveis, contribuindo desta forma para a redução do consumo de recursos, a diminuição da frequência de substituição de baterias e a facilitação do processo de desmantelamento para reutilização e reciclagem mais eficazes.
- 2. Testes de baterias:** A categoria de testes de baterias está relacionada à conscientização e ao uso sustentável das baterias por parte dos usuários. Projetos nesta categoria desenvolvem métodos e tecnologias para testar e avaliar o desempenho das baterias, o que permite que os usuários tomem decisões informadas sobre como usar, carregar e manter as suas baterias de forma eficiente. A conscientização sobre a vida útil das baterias e a otimização do uso contribuem para a prolongação da vida útil das baterias e, portanto, para a redução do descarte prematuro.
- 3. Circularidade das baterias:** Por fim, a categoria direta de projetos relacionados com a circularidade das baterias. Estes projetos concentram-se em melhorar os processos de reciclagem, recuperação de materiais e reutilização de baterias de segunda vida. São projetos mais recentes e refletem a crescente preocupação com a gestão sustentável dos resíduos de baterias e a criação de sistemas para estender a vida útil das baterias.

Ao longo das décadas, os projetos demonstraram uma evolução no seu foco, tal como podemos verificar pela observação da tabela apresentada no Anexo B. Os primeiros projetos pareciam estar mais focados em melhorar as tecnologias de baterias existentes, como baterias de chumbo-ácido e baterias de íon-lítio, de forma a torná-las mais eficientes e adequadas para VE. Tal envolvia o desenvolvimento de materiais e processos para melhorar a performance e a segurança das baterias. Posteriormente, houve uma mudança em direção a projetos que pretendiam criar baterias de alto desempenho, sustentáveis e eficientes. Muitos projetos focaram-se em desenvolver em materiais avançados, processos de fabricação e design de baterias que poderiam oferecer maior densidade de energia, maior durabilidade da bateria e menor custo dos processos de produção e de reciclagem.

A análise da informação disponibilizada na plataforma CORDIS e das páginas web dos projetos, permite constatar que os resultados dos projetos situam-se em várias fases de processo de desenvolvimento de inovações, isto é, pesquisa, prototipagem, teste, refinamento e a fabricação em larga escala. Assim, os resultados estão associados ao processo de desenvolvimento de novo conhecimento e de novas soluções.

Em termos de fases mais próximas da exploração comercial das soluções desenvolvidas, destacam-se o projeto OPERA4FEV, que desenvolveu um rack termoplástico e o testou em 2 demonstradores, nomeadamente nos veículos rodoviários da FIAT e da FAM, modelo F-City; o projeto GHOST que demonstrou as suas soluções de sistemas de bateria modulares com maior densidade de energia, eco-design e técnicas inovadoras de fabricação e desmantelamento de sistemas de baterias, num autocarro BEV com capacidade de carga super rápida um veículo P-HEV 400V, o Fiat 500X; e o projeto ALBATROSS, que reduziu o peso do sistema de bateria de um BMW i3 em 20%, para 222 kg.

Para além disso, os projetos contribuíram para a literatura académica e científica, devolvendo 256 publicações no geral dos projetos, incluindo trabalhos académicos, artigos científicos e livros. Alguns projetos também alcançaram o registo de patentes, com destaque para o "ELIBAMA", que registou sete patentes, e o "GHOST", que registou uma patente.

#### 3.4.2. Análise dos impactos

Esta subsecção visa apresentar a análise dos impactos dos projetos para as três dimensões da sustentabilidade: económica, ambiental e social. A análise de conteúdo revelou 12 tipos de impactos que a seguir se descrevem.

### **Impacto 1 - Melhoria do desempenho das baterias e aumento da durabilidade do produto:**

A maioria dos projetos focou-se em desenvolver tecnologias mais eficientes. Um dos obstáculos referidos na apresentação do projeto OPERA4FEV foi que *“Os VE permanecem mais caros do que os veículos equivalentes com motores de combustão, em grande parte por causa dos custos da bateria e pelas pequenas taxas de produção que não permitem economias de escala suficientes.”*

Os projetos apresentaram várias soluções para aumentar a performance energética das baterias, entre as quais a diminuição do peso da bateria, através da redução de componentes ou do uso de materiais mais leves. Um exemplo é o projeto OPERA4FEV, que desenvolveu um rack de bateria termoplástico em alternativa ao convencional rack de bateria em alumínio, e o testou em dois demonstradores, um veículo rodoviário utilizado em larga escala da FIAT e um veículo de nicho da FAM, modelo F-City. O termoplástico é um material mais leve que o alumínio, portanto a substituição do rack convencional por um rack com material termoplástico permitiu que o peso do pack da bateria diminuísse em 32%. Durante o projeto OPERA4FEV foi avaliada e confirmada a eficácia do rack termoplástico em termos de segurança do veículo e dos seus ocupantes em caso de colisão.

### **Impacto 2 - Otimização do processo produtivo e redução de custos:**

Outro impacto em que os projetos se focaram foi na redução dos custos de produção e dos custos de componentes constituintes da bateria. *No tópico anterior, foi mencionado o projeto OPERA4FEV* que desenvolveu um rack de bateria termoplástico em alternativa ao convencional rack de bateria em alumínio. O material termoplástico utilizado na produção do rack é uma opção que, para além de ser mais leve comparativamente ao alumínio, e assim permitir a redução do peso do veículo elétrico, reduz a quantidade de energia necessária para movimentar o veículo. Por outro lado, *“o preço das peças plásticas é 5 vezes menor que as peças metálicas”*. Ainda verificaram que existe a possibilidade de utilizar 20 a 30% de polímero reciclado na produção do rack, o que também diminuirá os custos de produção. Foi também tomado em consideração o design da bateria, simples, versátil e adaptável a todos os modelos de VE, com uma redução do número de componentes em cerca de 15%. Desta forma, a montagem e desmontagem são mais fáceis e rápidas, os custos de manutenção são menores e o processo de reciclagem mais barato.

Tal como mencionado na apresentação do projeto iModBatt *“As baterias não vão acabar tão cedo, especialmente as de ion-lítio. Com a expansão dos veículos elétricos, as baterias*

*precisam de uma afinação para reduzir os custos de manufatura, melhorar o design e minimizar a sua pegada ecológica.”.*

### **Impacto 3 - Otimização do processo de reciclagem:**

O projeto CarE-Service identificou os processos manuais de desmantelamento como uma das principais dificuldades do processo de reciclagem de baterias de VE. Atualmente, esse processo é realizado manualmente por algumas empresas certificadas na Europa. Os processos de desmantelamento manual de baterias de VE é um processo complexo e perigoso, devido à diversidade, complexidade e perigosidade dos componentes das baterias:

*“This is a very critical operation as a result of complexity, variety of batteries and especially safety reasons. Currently, this is performed manually by a few certified companies in Europe.”*

Os trabalhadores precisam de ser altamente qualificados e treinados para lidar com os componentes perigosos das baterias, como o lítio e o cobalto. Além disso, a desmontagem manual é um processo lento e ineficiente, o que pode aumentar os custos de reciclagem.

Uma das soluções técnicas desenvolvidas pelo projeto CarE-Service inclui um sistema robótico para desmontagem de baterias. A tecnologia de desmantelamento isola as células da bateria com base na colaboração da força humana e tecnologia robótica, pequenos robôs capazes de separar plásticos, fios, controladores eletrônicos e baterias de células. O sistema robótico para desmontagem de baterias tem o potencial de facilitar o processo de reciclagem. Os robôs são capazes de desmontar as baterias de forma rápida e precisa, acelerando o processo de reciclagem. Por outro lado, a automação melhora a segurança, reduzindo os riscos para os trabalhadores e padronizando a operação. Ao mesmo tempo, a automação pode reduzir os custos operacionais a longo prazo, tornando-o mais eficiente. A recuperação de materiais valiosos, como metais preciosos e materiais de cátodo, é aprimorada pela desmontagem precisa realizada pelos robôs. Isso torna o processo de reciclagem mais rentável e sustentável, reduzindo a necessidade de extrair matérias-primas virgens.

### **Impacto 4 - Melhoria da pegada ecológica das baterias:**

Aprimorar a pegada ecológica das baterias é crucial da transição para VE sustentáveis. Essa melhoria envolve várias estratégias e inovações que reduzem o impacto ambiental das baterias, desde sua produção até ao fim da sua vida útil.

Projetos como o OPERA4FEV demonstram que é possível reduzir a quantidade de materiais e componentes utilizados nas baterias, sem comprometer seu desempenho. Isso não

apenas reduz o consumo de recursos naturais, mas também diminui a pegada ecológica associada à extração e processamento desses materiais. Por outro lado, a substituição de materiais por alternativas menos poluentes contribui para a redução da pegada ambiental das baterias. Por exemplo, o uso de um rack termoplástico em vez de alumínio, como demonstrado pelo projeto OPERA4FEV, pode ter um impacto positivo na sustentabilidade, mesmo se os plásticos não forem recuperados no final da vida útil.

Existem ainda projetos que exploram o uso de materiais reciclados na fabricação de baterias, reduzindo a procura por matérias-primas virgens e incentivando a economia circular, como é o caso do RHINOCEROS, que desenvolveu maneiras de produzir materiais de alto desempenho para o ânodo e cátodo a partir de materiais reciclados. O projeto CarE-Service contribui para a redução da dependência de matérias-primas virgens, ao fornecer matérias-primas secundárias certificadas e de alta qualidade a partir de peças desmontadas feitas em tecnopolímero. O fornecimento de matérias-primas secundárias pode ajudar a reduzir a dependência desses recursos naturais.

Por outro lado, projetos que aprimorem a eficiência e a vida útil das baterias, evitam o descarte prematuro das baterias, reduzindo o desperdício e a necessidade de produzir novas baterias com frequência. Tal é especialmente importante, pois a fabricação de baterias é um processo intensivo em recursos. Os projetos muitas vezes incluem uma análise abrangente do ciclo de vida das baterias, desde a extração de matérias-primas até à produção, uso e descarte. Tal ajuda a identificar áreas onde melhorias podem ser feitas para reduzir o impacto ambiental. Projetos que avaliam a reciclabilidade dos materiais usados nas baterias, identificando componentes que podem ser recuperados e reutilizados no final de sua vida útil, também contribuirão para um ciclo de vida mais sustentável das baterias.

### **Impacto 5 - Promover a sustentabilidade e a economia circular:**

A maioria dos projetos têm como um de seus objetivos a realização do Life Cycle Assessment (LCA) (Avaliação do Ciclo de Vida). O LCA desempenha um papel fundamental em compreender e promover práticas sustentáveis na gestão de resíduos de baterias. O LCA permite uma avaliação completa do ciclo de vida de um produto ou processo, desde a extração de matérias-primas até ao descarte final. No caso das baterias, isso significa considerar todos os estágios, desde a produção até a reciclagem ou descarte, identificando os impactos ambientais em cada fase. Ao entender os fluxos de materiais e recursos envolvidos na gestão de resíduos de baterias, o LCA ajuda a promover práticas de economia circular.

## **Impacto 6 - Criação de emprego:**

A análise dos projetos relacionados com as baterias de veículos elétricos revelou que um dos impactos significativos gerados por esses projetos foi a criação de empregos. Vários projetos mencionaram explicitamente a geração de emprego como um dos objetivos ou resultados alcançados. Esses empregos abrangem uma ampla gama de setores, incluindo manufatura do produto, investigação e desenvolvimento, logística e serviços relacionados às baterias de veículos elétricos.

Um exemplo concreto é o EUNICE, um projeto que destaca as oportunidades de emprego relacionadas à construção e modernização de VE, produção de baterias, infraestrutura de carregamento e exportação de tecnologia; outro projeto, CarE-Service, ressalta a criação de empregos como resultado direto da plataforma/network CarE-Service. *“CarE-Service expects that over the next 10 years 8 % of electric end-of-life vehicles can be processed by the CarE-Service platform/network. This will help to generate jobs.”* (CarE-Service); O SLB-DES da Powervault, um projeto de reciclagem de baterias de veículos elétricos de segunda vida para sistemas de armazenamento de eletricidade de uso doméstico, prevê a criação de mais de 70 novos empregos até 2024.

Para além da quantidade de empregos gerados, também é relevante considerar a qualidade dos empregos. Os projetos destacaram a importância de empregos sustentáveis e de longo prazo, com oportunidades de desenvolvimento profissional e benefícios para os trabalhadores envolvidos. Essa geração de empregos está alinhada com as metas e políticas relacionadas à transição para veículos elétricos e à economia verde.

Os empregos criados contribuem não apenas para a sustentabilidade ambiental, mas também para o desenvolvimento socioeconómico das regiões envolvidas. É importante ressaltar que os impactos da geração de empregos vão além do aspeto quantitativo. Essa criação de empregos tem o potencial de gerar efeitos multiplicadores na cadeia de abastecimento, impulsionar o desenvolvimento de capacidades e competências específicas, e fortalecer a capacitação da força de trabalho em setores relacionados com a tecnologia de baterias de VE. Em síntese, a análise dos projetos revelou que a implementação de projetos relacionados às baterias de veículos elétricos resultou em impactos positivos na geração de empregos. Esses empregos contribuem para a transição para uma economia mais sustentável e têm o potencial de impulsionar o desenvolvimento socioeconómico, fornecendo oportunidades de trabalho de qualidade e promovendo a inovação no setor de mobilidade elétrica.

## **Impacto 7 - Fornecimento de energia acessível e promoção de fontes de energia renovável:**

Um dos impactos de projetos como o teste de baterias AVILOO é a possibilidade de permitir um segundo uso das baterias que já não são adequadas para VE devido à degradação. Embora as baterias possam já não ser adequadas para fornecer energia suficiente para a propulsão de um veículo, ainda podem ter capacidade de armazenamento de energia. No lugar de descartar essas baterias, estas podem ser reaproveitadas para outras aplicações, como armazenamento de energia doméstica ou em sistemas de armazenamento em larga escala. O projeto da Powervault é um excelente exemplo disso. A Powervault fabrica sistemas de armazenamento de energia residencial que utilizam baterias de segunda vida, provenientes de VE usados, para armazenar energia solar gerada em residências. Projetos como o da Powervault e o teste de baterias do AVILOO têm o potencial de dar uma segunda vida às baterias de veículos elétricos, prolongando a sua vida útil e tornando-as úteis em outras aplicações.

Um dos projetos denominado “Second Life Batteries for Domestic Electricity Storage” pela Powervault, concentra-se na reutilização de baterias de segunda vida para fins de armazenamento de energia em residências. Este tipo de iniciativa apresenta benefícios ao proporcionar uma fonte acessível de energia. Ao acumular e armazenar o excedente de energia solar e eletricidade de baixo custo proveniente da rede elétrica, este assegura o fornecimento de energia domiciliar de forma mais económica. Para além disso, o armazenamento de energia permite que as residências se tornem mais autossuficientes em termos de energia, isto é, que reduzam a dependência da rede elétrica convencional.

O uso de baterias de segunda vida em projetos de armazenamento de energia, como o caso do projeto da Powervault, incentiva a adoção de fontes de energia renovável, como painéis solares. Isso, por sua vez, reduz a pegada de carbono e contribui para a transição energética. Inicialmente, as baterias de segunda vida são coletadas de VE após terem atingido o fim de vida útil no contexto automobilístico. Embora as baterias de segunda vida não sejam adequadas para uso em veículos, ainda têm capacidade de armazenamento de energia. As baterias são submetidas a um processo de condicionamento e teste rigoroso para avaliar sua capacidade residual e determinar se são adequadas para serem usadas em novas aplicações, como armazenamento de energia. As baterias condicionadas são então integradas a sistemas de armazenamento de energia doméstica, que por sua vez são combinados com sistemas de geração de energia renovável, como painéis solares. Essa integração permite que a energia gerada pelos painéis solares seja armazenada nas baterias durante o dia, quando a produção solar é alta. A energia armazenada nas baterias de segunda vida pode ser usada durante a noite ou em períodos

de baixa exposição solar. Tal ajudará a maximizar o aproveitamento da energia solar, tornando-a disponível quando necessária. Ao utilizar essa energia armazenada, a dependência de fontes de energia não renovável, como a eletricidade da rede, é reduzida, o que contribui para a redução da pegada de carbono. A combinação de baterias de segunda vida e geração de energia solar apoia diretamente a transição energética, que visa a substituição de fontes de energia não renovável por fontes limpas e renováveis. Esta iniciativa ajuda a diversificar a matriz energética e a tornar o sistema de energia mais sustentável.

*“Powervault believes it’s novel ‘Second Life Battery for Domestic Electricity Storage’ will be affordable enough to unlock new customer segments (e.g. social landlords) and radically accelerate uptake of a low carbon technology central to decarbonisation of the energy system. (...) This way more renewable energy can be used locally, helping to support the cost-effective integration of more variable renewable generation into the energy system.” (SLB-DES, Powervault)*

Por seu lado, o projeto CarE-Service desenvolveu um processo de remanufatura de baterias reutilizadas de módulos automotivos, que permite que as baterias sejam usadas novamente em aplicações de energia renovável. As baterias remanufaturadas podem ajudar a integrar energia renovável variável, como a energia solar e eólica, quando as condições climáticas não permitem a produção de energia. Isso pode melhorar a eficiência dos sistemas de energia renovável e aumentar sua penetração no mercado. Para além disso, referem que o serviço CarE aumentará o valor acrescentado do setor das energias renováveis da UE ao criar novos locais de trabalho.

### **Impacto 8 - Apoio à expansão da mobilidade elétrica:**

*“Electric cars are a major factor in the strategy to tackle the environmental challenges that we face today.” (AVILOO bcheck)*

Projetos que se concentram no aprimoramento das baterias de VE têm um impacto substancial na expansão da adoção desses veículos. Ao melhorar a performance, a longevidade e a eficiência das baterias, esses projetos tornam os VE mais atraentes e acessíveis para os consumidores. O aumento da durabilidade e desempenho das baterias, reduz os custos e o tempo de substituição. Tal aumenta a confiança dos consumidores nesse produto e permite-lhes sentirem-se mais seguros em fazer a transição para a adoção de VE.

Um exemplo é o projeto ALBATROS (*Advanced Light-weight Battery systems Optimized for fast charging, Safety, and Second-life applications*), que desenvolveu sistemas avançados de bateria leve, utilizando uma melhor gestão da capacidade da bateria, equilíbrio e gestão

térmica durante carga e descarga de alta potência. Referem que um dos impactos diretos do projeto é “melhorar a atratividade do VE através do prolongamento da vida útil da bateria para 300.000km em condução real, num automóvel de passageiros de tamanho médio”, que normalmente dura 200.000km.

Outro exemplo é o projeto da Powervault, que dá um segundo uso às baterias de VE em fim de vida útil em sistemas de armazenamento de energia doméstica. O facto dos VE terem uma vida útil de bateria limitada poderá constituir uma preocupação para os consumidores. A reutilização de baterias de VE pode tornar os VE mais atraentes, já que os proprietários podem esperar que as baterias sejam reutilizadas após sua vida útil nos veículos.

O projeto AVILOO bcheck, que desenvolveu um teste de verificação do estado das baterias, constitui um exemplo de como a tecnologia pode desempenhar um papel crucial no apoio à mobilidade elétrica. Ao permitir que compradores e vendedores conheçam o estado exato de saúde da bateria, o projeto AVILOO contribui para a transparência e confiança no mercado de veículos elétricos usados. Isso pode ser um fator decisivo para incentivar mais pessoas a considerar a compra de carros elétricos usados, uma vez que eles terão informações claras sobre o estado da bateria.

*“Batteries are subject to degradation over time, which results in a decrease in available power and range of electric vehicles (EV). When buying a used electric car, it is therefore of great importance for buyers and sellers to know the exact state-of-health of the battery as this determines its value to a high degree. (...) The AVILOO b:check will bring evidence for the quality of batteries in used electric cars.” (AVILOO bcheck)*

### **Impacto 9 - Uso eficiente e sustentável de baterias de VE:**

Uma outra categoria de impacto gerada pelos projetos relacionados aos veículos elétricos é a conscientização dos utilizadores sobre a importância do uso adequado das baterias. Um exemplo é o projeto AVILOO bcheck, que desenvolveu um teste de verificação do estado das baterias, confiável e rápido, permitindo que os usuários realizem o teste de forma independente. Projetos como este têm o potencial de aumentar a adoção de testes de bateria, resultando num uso mais eficiente e sustentável das baterias dos veículos elétricos.

Através desses projetos, a consciencialização pública sobre a importância do uso correto das baterias de veículos elétricos pode ser ampliada. Tal implica disseminar a compreensão de que a boa utilização das baterias prolonga sua vida útil, reduzindo assim a necessidade de descarte prematuro. Para além disso, ao promover um uso mais eficiente das baterias, os

projetos contribuem para maximizar a autonomia dos veículos elétricos, melhorando a sua performance e alcance.

Essa consciencialização sobre o bom uso das baterias pode, por sua vez, impulsionar a transição para um sistema de transporte mais sustentável. Ao entender a importância de cuidar adequadamente das baterias dos veículos elétricos, os usuários são incentivados a adotar práticas de carregamento responsáveis, evitar o sobreaquecimento e a descarga completa das baterias, e considerar opções de recarga provenientes de fontes renováveis.

Portanto, projetos como o AVILOO bcheck desempenham um papel fundamental na consciencialização dos usuários de veículos elétricos, promovendo a importância do bom uso das baterias e contribuindo para a construção de um sistema de transporte mais sustentável e eficiente em termos energéticos.

### **Impacto 10 - Aquisição de novos conhecimentos, métodos e competitividade na indústria automóvel por parte dos participantes do projeto:**

Um dos impactos referidos pelas empresas e instituições participantes do projeto OPERA4FEV foi a oportunidade de adquirir novos conhecimentos e métodos relacionados com os VE. Os participantes dos projetos procuram melhorar a sua competitividade na indústria automóvel, que está a passar por uma transformação significativa em direção à mobilidade elétrica. Adquirir conhecimentos e experiência nessa área é fundamental para se manterem à frente da concorrência e atender às crescentes necessidades do mercado de VE. Estes projetos impulsionam a inovação, o desenvolvimento de novas competências e a competitividade na indústria automóvel; capacitam os participantes a destacarem-se num mercado em constante evolução, enquanto contribuem para a pesquisa e a implementação de soluções sustentáveis e avançadas na mobilidade elétrica. Empresas como a MECAPLAST referiram a necessidade de aprofundar conhecimentos para oferecer soluções integradas aos fabricantes de veículos; a Olesa a necessidade de adquirir conhecimentos em design, desenvolvimento e fabricação de grandes moldes para racks de baterias automóveis; já as universidades e instituições de pesquisa, como a INSA/CETHIL e a UPM-INSIA, referenciaram a oportunidade de realizar uma pesquisa inovadora em áreas relacionadas a VE que poderão contribuir para o desenvolvimento de novos métodos e contribuições para regulamentações futuras; e a VUB, universidade belga, referiu a oportunidade de ampliar as suas bases de dados no decorrer do projeto.

## **Impacto 11 - Apoio à competitividade europeia no mercado de baterias de lítio:**

*“To avoid relying on other countries to meet its energy transition goals, Europe is faced with the challenge of developing and producing competitive lithium-ion (Li-ion) batteries.” (ASTRABAT)*

Projetos de pesquisa e desenvolvimento impulsionam a inovação tecnológica no campo das baterias de lítio, o que coloca as empresas e instituições europeias na vanguarda da tecnologia de baterias, permitindo que elas concorram de forma mais eficaz num mercado global cada vez mais competitivo. Por outro lado, ao desenvolver a capacidade de produzir baterias de lítio de alta qualidade em solo europeu, a região torna-se menos dependente de fornecedores externos, muitos dos quais estão localizados em outras partes do mundo. Tal aumenta a autonomia e a segurança no fornecimento de baterias essenciais para a indústria automóvel. O desenvolvimento de uma indústria de baterias de lítio robusta na Europa cria empregos locais e impulsiona o crescimento económico. Empresas envolvidas na fabricação e produção de baterias, bem como aquelas que fornecem tecnologias e serviços relacionados, contribuem para o crescimento do setor e a geração de empregos. A redução, reutilização, reciclagem e recuperação de resíduos de baterias de VE por sua vez evita a dependência excessiva de importações de baterias e matérias-primas, o que é crucial para a segurança energética e industrial da Europa. Para além disso, promove uma economia circular na Europa, apoiando a visão da UE de minimizar o desperdício e maximizar a utilização de recursos, alinhada com sua estratégia de Economia Circular. A Europa tem demonstrado um compromisso significativo com a sustentabilidade ambiental. Projetos que visam a produção de baterias de lítio mais sustentáveis e ecologicamente corretas contribuem para a liderança europeia em práticas ambientalmente responsáveis.

*“The Li-ion cell innovations should meet specific technical and economical requirements to sustain the market growth.”*

O projeto ASTRABAT concentra-se em encontrar materiais, componentes e arquiteturas de células de estado sólido para baterias que possam ser produzidos em massa e assim atender à procura do mercado de VE. O projeto desempenhará um papel no fortalecimento da cadeia de valor europeia das baterias, bem como nas colaborações entre organizações de investigação e tecnologia, PME e parceiros industriais, o que é fundamental para a competitividade europeia.

*Project achievements will help prevent Europe’s technological dependence on other parts of the world. (RHINOCEROS)*

## **Impacto 12 - Continuidade dos projetos:**

Ao verificar os sites ativos dos projetos e ao pesquisar notícias e publicações após a data de término dos projetos, procurou-se perceber se os projetos continuaram a contribuir para o progresso da pesquisa e do desenvolvimento de inovações. Verificou-se que 33 dos projetos ainda têm o site ativo, e pelo menos 30 fizeram publicações após a data de término.

A tabela 12 sintetiza os impactos dos projetos por cada dimensão de análise (social, ambiental e económica). Apesar de os impactos gerados estarem interrelacionados, procurou-se classificar os impactos por cada uma das dimensões para identificar a contribuição dos projetos em cada uma, e assim simplificar a análise dos impactos no geral dos projetos.

*Tabela 12- Impactos dos projetos por dimensão económica, ambiental e social*

<b>Dimensão económica</b>	<b>Dimensão ambiental</b>	<b>Dimensão social</b>
Criação de emprego	Melhoria da pegada ecológica das baterias	Fornecimento de energia acessível
Otimização do processo produtivo e redução de custos	Uso eficiente e sustentável das baterias	Criação de emprego
Apoio à competitividade europeia no mercado de baterias de lítio	Promoção de fontes de energia renovável	Aquisição de novos conhecimentos, métodos e competitividade na indústria automotiva por parte dos participantes do projeto
Aquisição de novos conhecimentos, métodos e competitividade na indústria automotiva por parte dos participantes do projeto	Apoio à expansão da mobilidade elétrica	

## CONCLUSÕES

O objetivo principal desta dissertação foi compreender os impactos económicos, ambientais e sociais da gestão de resíduos de baterias de VE rodoviários, analisando os mecanismos existentes em matéria de gestão de resíduos de baterias de VE na Europa, as políticas existentes e seus contributos para o aumento da gestão de resíduos de baterias de VE na Europa.

Como observado na revisão de literatura, a crescente adoção de VE apresenta uma tendência de crescimento exponencial, impulsionada pela necessidade de reduzir as emissões do setor de transportes, um dos principais contribuintes para o aumento das emissões de GEE nas cidades. No entanto, essa transição não está isenta de preocupações, especialmente no que diz respeito ao descarte de baterias, à medida que os primeiros lotes atingem o fim de sua vida útil. A gestão eficaz dos resíduos de baterias de VE é fundamental para minimizar o impacto ambiental, reduzir a dependência de matérias-primas importadas e criar uma economia circular para os materiais, garantindo assim uma transição sustentável para a mobilidade elétrica. Há uma falta geral de discussão sobre a configuração de políticas públicas para apoiar o tratamento de resíduos de baterias de VE, provavelmente por causa da sua novidade no contexto da indústria de VE (Li et al., 2021).

A Europa apenas incluiu as baterias de VE nos regulamentos relacionadas ao tratamento de resíduos de baterias e produtos eletrónicos no corrente ano, e sendo uma economia na charneira das políticas ambientais surgiu a necessidade de compreender que outros desenvolvimentos estão a ocorrer na Europa em termos de investigação e inovação em tecnologias de baterias e novas soluções de gestão de resíduos de baterias de VE.

Neste sentido, procedeu-se à análise dos projetos CORDIS da Comissão Europeia, para uma melhor compreensão relativamente ao tipo de projeto suportado financeiramente pela UE em termos de desenvolvimento de novas soluções para redução, reutilização, reciclagem e recuperação de resíduos de baterias de VE. Destacam-se alguns países europeus, que demonstram um empenho mais notável na busca por soluções inovadoras, nomeadamente a Alemanha, a França, a Espanha, a Itália, a Bélgica, a Áustria, o Reino Unido, a Noruega, a Suíça e a Suécia. Para além disso, identificámos instituições de investigação e empresas que se destacam pelo seu compromisso e contribuições significativas para o avanço dessa área, tais como a Fraunhofer Gesellschaft Zur Forderung Der Angewandten Forschung EV, o Commissariat A L Energie Atomique Et Aux Energies Alternatives, o AIT Austrian Institute of Technology GMBH e a Fundacion Tecnalia Research & Innovation.

Observamos que existem com maior frequência projetos relacionados com novas tecnologias de baterias, com foco no desenvolvimento de designs sustentáveis, aumento da eficiência e durabilidade da bateria, uso de materiais mais leves, recicláveis e com menor impacto ambiental, contribuindo desta forma para a redução do consumo de recursos, a diminuição da frequência de substituição de baterias e a facilitação do processo de desmantelamento para reutilização e reciclagem mais eficazes. Tal confirma que os projetos estão a seguir as prioridades da UE de redução de resíduos e circularidade das baterias.

Os resultados revelam ainda um amplo leque de impactos dos projetos financiados, que cobrem as três dimensões da sustentabilidade. As soluções que estão a ser desenvolvidas com financiamento da UE contribuirão, assim, para o aumento da sustentabilidade da mobilidade elétrica.

O foco na análise de projetos de investigação e desenvolvimento, poderá ser uma limitação desta dissertação, uma vez que o estudo não inclui outras iniciativas relevantes que também poderão desempenhar um papel crucial na gestão de resíduos de baterias de VE. Apesar das limitações, este estudo oferece uma base sólida para tecer algumas recomendações importantes, nomeadamente:

i) acelerar o uso das soluções desenvolvidas de forma a reforçar a sustentabilidade da mobilidade elétrica. Tal inclui a implementação de novas tecnologias e modelos de negócio que foram propostos pelos projetos.

ii) encontrar soluções de reciclagem – embora a reciclagem seja considerada uma solução inferior na hierarquia dos “Rs” (Reduzir, Reutilizar, Reciclar, Recuperar) é crucial desenvolver soluções de reciclagem para lidar com o grande volume de baterias que atingirão o fim de sua vida útil. As soluções desenvolvidas parecem estar a atuar a montante (design e a expansão da vida útil das baterias), no entanto, é igualmente necessário reforçar a capacidade de reciclagem, sobretudo para cumprir metas estipuladas na nova diretiva.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bartl, A. (2014). *Moving from recycling to waste prevention: A review of barriers and enablers*. *Waste Management & Research*, 32(9\_suppl), 3–18. <<https://doi.org/10.1177/0734242x14541986>>
- Beaudet, A., Larouche, F., Amouzegar, K., Bouchard, P., & Zaghbi, K. (2020). *Key Challenges and Opportunities for Recycling Electric Vehicle Battery Materials*. *Sustainability*, 12(14), 5837. <<https://doi.org/10.3390/su12145837>>
- Costa, J. (2019). *Mass introduction of electric passenger vehicles in Brazil: impact assessment on energy use, climate mitigation and on charging infrastructure needs for several case studies*. Tese de doutoramento. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Dunn, J. B., Gaines, L., Kelly, J. C., James, C., & Gallagher, K. G. (2015). *The significance of Li-ion batteries in electric vehicle life-cycle energy and emissions and recycling's role in its reduction*. *Energy & Environmental Science*, 8(1), 158–168. <<https://doi.org/10.1039/c4ee03029j>>
- Gaines, L., Richa, K., & Spangenberg, J. (2018). *Key issues for Li-ion battery recycling*. *MRS Energy & Sustainability*, 5. <<https://doi.org/10.1557/mre.2018.13>>
- IEA (2023). *Global EV Outlook 2023: Catching up with climate ambitions*.
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). *Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions*. *Resources, Conservation and Recycling*, 127 (0921-3449), 221–232. <[10.1016/j.resconrec.2017.09.005](https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.09.005)>
- Li, W., Yang, M., Long, R., Mamaril, K., & Chi, Y. (2021). *Treatment of Electric Vehicle Battery Waste in China: A review of existing policies*. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, 29(2), 111–122. <<https://doi.org/10.3846/jeelem.2021.14220>>
- Melin, H. E. (2019). *State-of-the-art in reuse and recycling of lithium-ion batteries—A research review*. *Circular Energy Storage*, 1, 1-57.
- Neumann, J., Petranikova, M., Meeus, M., Gamarra, J. D., Younesi, R., Winter, M., & Nowak, S. (2022). *Recycling of Lithium-Ion Batteries—Current State of the Art, Circular Economy, and Next Generation Recycling*. *Advanced Energy Materials*, 12, 2102917. <<https://doi.org/10.1002/aenm.202102917>>
- Nurdiawati, A., & Agrawal, T. K. (2022). *Creating a circular EV battery value chain: End-of-life strategies and future perspective*. *Resources, Conservation and Recycling*, 185, 106484. <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106484>>
- Olsson, L., Fallahi, S., Schnurr, M., Diener, D., & van Loon, P. (2018). *Circular Business Models for Extended EV Battery Life*. *Batteries*, 4(4), 57. <<https://doi.org/10.3390/batteries4040057>>
- Pagliaro, M., & Meneguzzo, F. (2019). *Lithium battery reusing and recycling: A circular economy insight*. *Heliyon*, 5(6). <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01866>>
- Pinegar, H., & Smith, Y. R. (2019). *Recycling of End-of-Life Lithium Ion Batteries, Part I: Commercial Processes*. *Journal of Sustainable Metallurgy*, 5(3), 402–416. <<https://doi.org/10.1007/s40831-019-00235-9>>
- Sihvonen, S., & Ritola, T. (2015). *Conceptualizing ReX for Aggregating End-of-life Strategies in Product Development*. *Procedia CIRP*, 29, 639–644. <<https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.01.026>>
- Tang, Y., Zhang, Q., Li, Y., Li, H., Pan, X., & Mclellan, B. (2019). *The social-economic-environmental impacts of recycling retired EV batteries under reward-penalty mechanism*. *Applied Energy*, 251, 113313. <<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113313>>

## FONTES:

- Comissão Europeia (2020). Proposta de Regulamento do Parlamento Europeu e do Conselho relativo às baterias e respetivos resíduos, que revoga a Diretiva 2006/66/CE e altera o Regulamento (UE) 2019/1020. COM/2020/798 final
- Conselho Europeu (2023). Conselho adota novo regulamento relativo às baterias e respetivos resíduos. Acesso a 23 de julho de 2023, a partir de: <<https://www.consilium.europa.eu/pt/press/press-releases/2023/07/10/council-adopts-new-regulation-on-batteries-and-waste-batteries/>>
- IEA (2017). *Electric Drive Vehicle Battery and Component Manufacturing Initiative*. International Energy Agency. Acesso a 30 de junho de 2023, a partir de: <<https://www.iea.org/policies/287-electric-drive-vehicle-battery-and-component-manufacturing-initiative>>
- IEA (2022a). *Review domestic supplies of batteries, key battery minerals and semiconductors*. International Energy Agency. Acesso a 30 de junho de 2023, a partir de: <<https://www.iea.org/policies/13021-review-domestic-supplies-of-batteries-key-battery-minerals-and-semiconductors>>
- IEA (2022b). *Memorandum on Presidential Determination Pursuant to Section 303 of the Defense Production Act of 1950, as amended*. International Energy Agency. Acesso a 30 de junho de 2023, a partir de: <<https://www.iea.org/policies/16096-memorandum-on-presidential-determination-pursuant-to-section-303-of-the-defense-production-act-of-1950-as-amended>>
- IEA (2023). Global EV Data Explorer. Acesso a <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/global-ev-data-explorer>>
- IEA (2023a). *Infrastructure and Jobs act: Batteries*. International Energy Agency. Acesso a 30 de junho de 2023, a partir de: <<https://www.iea.org/policies/14994-infrastructure-and-jobs-act-batteries>>
- IEA (2023b). *Inflation Reduction Act 2022: Sec. 13401 Clean Vehicle Credit*. International Energy Agency. Acesso a 30 de junho de 2023, a partir de: <<https://www.iea.org/policies/16277-inflation-reduction-act-2022-sec-13401-clean-vehicle-credit>>
- Norwegian Government (2021). *Norway is electric*. Acesso a 18 de setembro de 2023, a partir de: <<https://www.regjeringen.no/en/topics/transport-and-communications/veg/faktaartikler-vei-og-ts/norway-is-electric/id2677481/>>

## ANEXOS

### Anexo A- Financiamento por país por tipo de ação

Tipo de ação	Financiamento UE (€)
<b>Redução</b>	220 644 272,18
Alemanha	49 390 647,63
França	42 244 607,68
Espanha	26 636 716,33
Itália	23 037 459,41
Bélgica	17 412 367,75
Áustria	13 393 808,91
Reino Unido	9 846 267,63
Suíça	7 331 052,70
Holanda	5 387 030,00
Noruega	5 366 185,00
Turquia	4 400 901,13
Suécia	3 553 836,00
Dinamarca	3 002 368,25
Irlanda	1 475 603,65
Grécia	1 309 612,50
Portugal	1 116 173,50
Roménia	1 053 833,50
Eslovénia	858 468,75
Israel	638 041,13
Ucrânia	628 427,50
Luxemburgo	577 006,98
Finlândia	455 068,75
Polónia	431 087,50
Bulgária	404 000,00
República Checa	400 000,00
Letónia	293 700,00
Mónaco	0,00
Coreia do Sul	
<b>Reutilização, Reciclagem, Recuperação</b>	24 455 705,76
Espanha	7 611 843,63
Itália	4 652 983,75
Alemanha	3 665 682,50
Bélgica	3 530 802,00
França	1 241 807,00
Suécia	997 093,75
Áustria	958 445,00
Noruega	848 631,00
Turquia	562 375,00

Portugal	386 042,13
Reino Unido	0,00
Redução, Reutilização, Recuperação, Reciclagem	15 050 000,00
Alemanha	2 471 845,38
Espanha	1 383 148,34
Polónia	1 122 553,45
Bélgica	1 070 247,87
Suécia	919 465,46
França	836 002,46
Noruega	776 189,96
Finlândia	692 726,98
República Checa	632 914,47
Áustria	632 914,44
Roménia	489 638,98
Israel	477 813,73
Dinamarca	346 363,49
Eslovénia	300 515,33
Letónia	289 053,29
Turquia	260 398,19
Portugal	260 398,19
Suíça	246 070,64
Luxemburgo	203 087,99
África do Sul	174 432,89
Eslováquia	162 970,85
Islândia	154 374,33
Lituânia	145 777,80
Hungria	145 777,80
Bulgária	125 742,44
Croácia	102 795,15
Estónia	88 467,60
Taiwan	59 812,50
Canada	59 812,50
Irlanda	59 812,50
Itália	59 812,50
Chipre	59 812,50
Grécia	59 812,50
Brasil	59 812,50
Coreia do Sul	59 812,50
Rússia	59 812,50
Recuperação	7 522 490,63
Noruega	3 681 041,50
França	1 399 359,88
Espanha	1 263 681,25

Bélgica	418 554,13
Suécia	226 380,00
Reino Unido	221 298,00
Itália	169 490,87
Alemanha	142 685,00
<b>Recuperação, Redução</b>	<b>4 995 848,45</b>
França	1 641 502,25
Bélgica	1 025 023,70
Grécia	971 750,00
Alemanha	442 535,00
Finlândia	437 537,50
Espanha	246 250,00
Portugal	231 250,00
<b>Reciclagem, Recuperação</b>	<b>3 588 506,00</b>
Reino Unido	1 646 017,20
Espanha	913 030,80
França	503 961,00
Suécia	373 225,00
Áustria	152 272,00
Holanda	
Alemanha	
Itália	
<b>Redução, Reciclagem</b>	<b>3 332 298,00</b>
Itália	1 480 734,00
Suécia	1 084 994,00
Alemanha	766 570,00
<b>Reutilização</b>	<b>100 000,00</b>
Reino Unido	50 000,00
Espanha	50 000,00
<b>Reciclagem</b>	<b>50 000,00</b>
Itália	50 000,00
Alemanha	
Bélgica	
França	

Anexo-B: Resultados dos projetos CORDIS relacionados com a redução, reutilização, recuperação e reciclagem de resíduos de baterias de VE, por ordem temporal

NOVAS TECNOLOGIAS DE BATERIAS				
Inovação	Projeto	Data de início	Data de término	Patentes, pilotos, publicações
Bateria de estado sólido	Solid Lithium Batteries with advanced Manganese dioxide cathodes	01/01/1993	31/12/1995	-
Bateria de chumbo-ácido	The Development of Improved Lead Acid Batteries for Electric Vehicle Service Which Are Maintenance Free and Fully Recyclable	01/01/1994	31/12/1997	-
Bateria de íon-lítio	Booster Battery for High Power Demand	01/01/1996	30/06/1999	-
Bateria de íon-lítio	AMELIE: Advanced Fluorinated Materials for High Safety, Energy and Calendar Life Lithium Ion Batteries	01/01/2011	31/12/2013	6 publicações 3 demonstradores de células
Bateria de estado sólido	SOMABAT: Development of novel SOLid MATerials for high power Li polymer BATteries	01/01/2011	31/12/2013	9 publicações
Bateria de íon-lítio	APPLES: Advanced, High Performance, Polymer Lithium Batteries for Electrochemical Storage	01/06/2011	31/05/2014	10 publicações
Rack de bateria termoplástico	OPERA4FEV: Operating rack for full-electric vehicle	01/09/2011	31/08/2016	1 publicação Testado em 2 demonstradores, um veículo rodoviário utilizado em larga escala da FIAT e um veículo de nicho da FAM, modelo F-City
Bateria de íon-lítio	GREENLION: Advanced manufacturing processes for Low Cost Greener Li-Ion batteries	01/11/2011	31/10/2015	8 publicações
Bateria de íon-lítio	ELIBAMA: European Li-Ion Battery Advanced Manufacturing for Electric Vehicles	01/11/2011	31/10/2014	2 publicações 7 patentes (entre elas 3 já publicadas)
Motor na roda	EUNICE: Eco-design and Validation of In-Wheel Concept for Electric Vehicles	01/09/2012	31/08/2015	-
Bateria de lítio-enxofre	LISSEN: Lithium Sulfur Superbattery Exploiting Nanotechnology	01/09/2012	31/08/2015	6 publicações
Célula de bateria metal-air	NECOBAUT: New Concept of Metal-Air Battery for Automotive Application based on Advanced Nanomaterials	01/10/2012	30/09/2015	17 publicações

Novas tecnologias de cátodo NMC	BATTERIES2020: TOWARDS REALISTIC EUROPEAN COMPETITIVE AUTOMOTIVE BATTERIES	01/09/2013	31/08/2016	6 publicações
Low-cobalt, Li-rich NMC and silicon alloys	MARS-EV: Materials for Ageing Resistant Li-ion High Energy Storage for the Electric Vehicle	01/10/2013	30/09/2017	6 publicações
Químicas e arquiteturas de silício e polianiónicos	SPICY: Silicon and polyanionic chemistries and architectures of Li-ion cell for high energy battery	01/05/2015	31/07/2018	18 publicações
Pack de bateria modular	iModBatt: Industrial Modular Battery Pack Concept Addressing High Energy Density, Environmental Friendliness, Flexibility and Cost Efficiency for Automotive Applications	01/10/2017	31/03/2021	15 publicações
Bateria de íon-lítio	DEMOBASE: Design and Modelling for improved Battery Safety and Efficiency	01/10/2017	30/11/2020	9 publicações
Bateria de íon-lítio	GHOST: Integrated and Physically Optimised Battery System for Plug-in Vehicles Technologies	01/10/2017	31/12/2021	Veículos de demonstração: um veículo P-HEV 400V (Fiat 500X) e um BEV 800V com carga ultrarrápida. Prototipagem e avaliação da bateria dual Li-ion e Li-S. Prototipagem, comissionamento e verificação funcional dos sistemas de baterias projetados. 1 Patente registada 17 publicações
Eixos elétricos	FITGEN: Functionally Integrated E-axle Ready for Mass Market Third Generation Electric Vehicles	01/01/2019	30/09/2022	9 publicações Demonstrado na plataforma do veículo elétrico FIAT 500e
Bateria de íon-lítio	SPIDER: Safe and Prelithiated high energy Density batteries based on sulphur Rocksalt and silicon chemistries	01/01/2019	31/08/2022	11 publicações
Ânodos de liga de silício	Si-DRIVE: Silicon Alloying Anodes for High Energy Density Batteries comprising Lithium Rich Cathodes and Safe Ionic Liquid based Electrolytes for Enhanced High Voltage Performance	01/01/2019	31/01/2023	2023: 2 publicações 2022: 7 publicações 2021: 7 publicações 2020: 11 publicações 2019: 2 publicações
Bateria de estado sólido	ASTRABAT: All Solid-sTate Reliable Batery for 2025	01/01/2020	30/06/2023	1 publicação
Células LNMO (cobalt-free)	3beLiEVe: Delivering the 3b generation of LNMO cells for the xEV market of 2025 and beyond	01/01/2020	30/06/2023	6 publicações

Bateria de estado sólido	SOLiDIFY: Liquid-Processed Solid-State Li-metal Battery: development of upscale materials, processes and architectures	01/01/2020	31/12/2023	2 publicações
Bateria de íon-lítio com ânodo de silício, cátodo em níquel e sensores internos	SeNSE: Lithium-ion battery with silicon anode, nickel-rich cathode and in-cell sensor for electric vehicles	01/02/2020	31/01/2024	15 publicações
Eléctrodos híbridos	Hydra: Hybrid power-energy electrodes for next generation lithium-ion batteries	01/05/2020	30/04/2024	-
Pack de bateria modular	HELIOS: High-performance modular battery packs for sustainable urban electromobility services	01/01/2021	31/12/2024	4 publicações
Bateria de íon-lítio	ALBATROSS: Advanced Lightweight Battery systems Optimized for fast charging, Safety, and Second-life applications	01/01/2021	31/12/2024	3 publicações Peso do sistema de bateria de um BMW i3 reduzido em 20%, para 222 kg.
Bateria de íon-lítio	LIBERTY: Lightweight Battery System for Extended Range at Improved SafeTY	01/01/2021	30/06/2024	4 publicações Demonstradores de hardware BMS
Compostos de alumínio	FLAMINGo: Fabrication of Lightweight Aluminium Metal matrix composites and validation In Green vehicles	01/02/2021	31/01/2025	1 publicação
Bateria de estado sólido	HELENA: Halide solid state batteries for ELectric vEHicles aNd Aircrafts	01/06/2022	31/05/2026	-
Bateria de estado sólido	SEATBELT: SOLID-STATE LITHIUM METAL BATTERY WITH IN SITU HYBRID ELECTROLYTE	01/07/2022	30/06/2026	
Bateria de estado sólido	AM4BAT: Gen. 4b Solid State Li-ion battery by additive manufacturing	01/07/2022	30/06/2026	-
Células LNMO	HighSpin: High-Voltage Spinel LNMO Silicon-Graphite Cells and Modules for Automotive and Aeronautic Transport Applications	01/09/2022	31/08/2026	-
Estruturas e compostos leves e sustentáveis	SUSPENS: Sustainable structural sandwiches and hollow composites parts for automotive, boat and aerospace markets	01/01/2023	30/06/2026	3 demonstradores com os respectivos modelos de negócio: (1) bateria automotiva para VE, (2) casco/convés de barco à vela (3) winglet de aeroestrutura.
Laser para processamento de eléctrodos de bateria	UltraThick Las: Development of Ultrathick Laser Ablation for Ultrathick Electrode Processing	01/09/2023	31/08/2025	-

**TESTE DE BATERIAS**

<b>Inovação</b>	<b>Projeto</b>	<b>Data de início</b>	<b>Data de término</b>	<b>Patentes, pilotos, publicações</b>
Teste de bateria	BatteryCheck: Take the mystery out of battery life	01/07/2019	31/01/2020	-
Teste de bateria	AVILOO bcheck: Independent test of the battery health in electric vehicles	01/10/2020	30/09/2022	-
Sistema de gestão de baterias (BMS) inteligente	3beLiEVe: Delivering the 3b generation of LNMO cells for the xEV market of 2025 and beyond	01/01/2020	30/06/2023	2 demonstradores de hardware do BMS

**CIRCULARIDADE DAS BATERIAS**

<b>Inovação</b>	<b>Projeto</b>	<b>Data de início</b>	<b>Data de término</b>	<b>Patentes, pilotos, publicações</b>
Programa de reciclagem de baterias de íon-lítio	LiC Batteries Recycling Program	01/05/1998	30/04/2000	-
Reciclagem de baterias de íon-lítio	Recycling of lithium based and lithium/polymer batteries	01/10/1998	30/09/2001	-
Avaliação e teste de sistemas avançados de armazenamento de energia	ASTOR: Assessment and testing of advanced energy storage systems for propulsion and other electrical systems in passenger cars	01/04/2001	30/09/2004	-
Baterias sustentáveis (reciclabilidade dos componentes, eficiência e materiais ecologicamente corretos)	SUBAT: Sustainable batteries	01/01/2004	31/03/2005	-
Soluções avançadas para baterias de íon-lítio	HELIOS: High Energy Lithium-Ion Storage Solutions	01/11/2009	31/10/2013	2 publicações
Avaliação do ciclo de vida	eLCAR: E-Mobility Life Cycle Assessment Recommendations	01/02/2012	28/02/2013	2 publicações
Recuperação de cobalto e lantanídeos	COLABATS: Cobalt and lanthanide recovery from batteries	01/10/2013	30/09/2016	2 publicações
Métodos de eletrólise de alta temperatura e extração de íons líquidos	REE4EU: integrated high temperature electrolysis (HTE) and Ion Liquid Extraction (ILE) for a strong and independent European Rare Earth Elements Supply Chain	01/10/2015	30/09/2019	3 publicações

Reutilização de baterias de segunda vida para armazenamento de eletricidade doméstica	SLB-DES: Second Life Batteries for Domestic Electricity Storage	01/12/2016	31/03/2017	-
Economia circular aplicada a baterias de íon-lítio	CELION: Circular Economy applied to LI-ION batteries for smart electric mobility in cities	01/12/2017	31/05/2018	-
Modelos de negócio de economia circular	CarE-Service: Circular Economy Business Models for innovative hybrid and electric mobility through advanced reuse and remanufacturing technologies and services	01/06/2018	30/11/2021	9 publicações 5 demonstradores: (1) soluções de reutilização de peças de tecnopolímeros (2) soluções de reutilização, refabricação e reciclagem de baterias (3) serviços de mobilidade e modelos de negócios para novos clientes (4) soluções de reciclagem de reutilização e refabricação de metais (5) Módulos e serviços móveis inteligentes
Pesquisa e desenvolvimento de tecnologias de bateria	BATTERY 2030+ At the heart of a connected green society	01/03/2019	31/05/2020	
Processos de reciclagem de cobalto	CoReco: Cost competitive process for recycling Cobalt from end of life Li-ion batteries	01/06/2019	30/11/2019	-
Métodos de reparação integral para baterias de VE e híbridos	BATT3RY: The first integral repairing method for electric and hybrid vehicle batteries which considers their full life-cycle	01/01/2020	30/04/2020	-
Estudo transnacional da transição para o lítio	Worlds of Lithium: A multi-sited and transnational study of transitions towards post-fossil fuel societies	01/02/2020	31/01/2025	10 publicações
Componentes auxiliares inovadores para veículos comerciais	comAUX: MOTEG-Reimagining Mobility with worldwide highly innovative auxiliary components for commercial vehicles	01/09/2020	31/08/2022	-
Bateria modular reutilizável	MARBEL: Manufacturing And Assembly of Modular And Reusable EV Battery For Environment-Friendly And Lightweight Mobility	01/01/2021	30/06/2024	1 publicação
Pesquisa e inovação de materiais e tecnologias de bateria	M-ERA.NET3 for research and innovation on materials and battery technologies, supporting the European Green Deal	01/03/2021	28/02/2026	-