



ANÁLISE DOS IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO AO FIM DE VIDA DO LÍTIO

FERNANDA GOMES CARVALHO

julho de 2023

ANÁLISE DOS IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO AO FIM DE VIDA DO LÍTIO

Fernanda Gomes Carvalho

2023

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

ANÁLISE DOS IMPACTOS DA EXPLORAÇÃO AO FIM DE VIDA DO LÍTIO

Fernanda Gomes Carvalho

1140703

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação do Doutor António Manuel Pereira da Silva Amaral e coorientação do Doutor Hernâni Miguel Reis Lopes

Instituto Superior de Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Mecânica

isen

P.PORTO

AGRADECIMENTOS

“Believe you can, and you are halfway there.” (Theodore Roosevelt) Filosofia que não é fácil de seguir, mas que com o apoio certo, sim.

Nesta secção reconhecimento é dado a todos aqueles que de uma ou de outra forma contribuíram para a realização desta dissertação.

Em primeiro, agradeço à minha família. Aos meus pais, por me guiarem e apoiarem ao longo das várias etapas do meu percurso académico. À minha irmã e cunhado que sempre me motivaram e me fizeram acreditar que mesmo na adversidade conseguiria finalizar a dissertação e consequentemente obter o grau de Mestre em Engenharia Mecânica. À minha sobrinha cuja tenra idade sempre foi uma fonte de inspiração e motivação. E à minha avó cujo débil estado me fez lutar ainda mais pelo meu futuro e a qual espero deixar orgulhosa.

Agradeço aos meus amigos, em particular à Célia Almeida e família pelo apoio moral e paciência. Agradeço ainda ao Grupo Coral Juvenil de Cristelo, entre outros grupos dos quais faço parte, pelo apoio e palavras de encorajamento nos momentos de dificuldade e desânimo.

Gostaria também de reconhecer e agradecer aos meus orientadores, Doutor António Amaral e Doutor Hernâni Lopes.

Finalmente, especial agradecimento ao Professor Dr. José Velho da Universidade de Aveiro, pela ajuda prestada e cujo conhecimento sobre o tema permitiu enriquecer a minha dissertação

página propositadamente em branco

RESUMO

A problemática a abordar designa-se *“análise dos impactos da exploração ao fim de vida do lítio”*.

O Lítio, mineral do momento, está com elevada procura. A sua utilização é diversificada na produção de cerâmica, produtos farmacêuticos, lubrificantes e baterias. O minério é obtido a partir de jazidas e salmouras. A exploração do Lítio sob as variadas formas que há no mercado, pode trazer problemáticas e impactos de várias naturezas e com consequências variadas.

O lítio passa por vários processos e estados, o que permite criar um ciclo de vida, este passa pelo processo de Estudo do/s locais a ser explorados, preparação do terreno, meios para de seguida explorar o local, para de seguida proceder á recolha e proceder á aplicação nas mais diversas áreas passo por fim pela fase de Reciclagem que ainda é muito pouco desenvolvida e a eliminação, após estas fases tenta-se que volte á parte de aplicação para que haja benefícios a todos os níveis.

Os objetivos desta dissertação incidem sobre a análise dos desafios, riscos e impactos da exploração do lítio e do seu ciclo de vida.

PALAVRAS-CHAVE

“Lítio”; “Impacto”; “Exploração”;

página propositadamente em branco

ABSTRACT

The dissertation theme is “analysis of the impacts of lithium exploitation at the end of its life”.

Lithium, the mineral of the moment, is in high demand. Its use is diversified in producing ceramics, pharmaceuticals, lubricants, and batteries. The ore is obtained from deposits and brines. This is a chemical element whose valence electron layer has only one electron, making it an unstable chemical element that, as a rule, is always connected to other chemical elements, which leads to the need for separation processes to obtain lithium.

Lithium is a chemical element widely used in technology associated with the manufacture of batteries, ceramics, glass, lubricants, and polymer production. This dissertation's objectives focus on analyzing the challenges, risks, and impacts of lithium exploration and its life cycle.

KEYWORDS

"lithium"; "impact"; "exploration";

página propositadamente em branco

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABELAS	IX
LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS	XI
1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivos	13
1.2. Metodologias Científicas	13
1.3. Contextualização	14
1.4. Estrutura da Dissertação	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
2.1. Análise bibliométrica.....	17
2.2. Aplicações do lítio para o armazenamento de energia.....	21
2.3. Depósitos de lítio.....	22
2.4. Extração do lítio.....	24
2.4.1. Salmouras.....	24
2.4.2. Meio Sólido	28
2.5. Impactos	28
2.5.1. Erosão do solo e poluição do ar, hídrica e sonora	29
2.5.2. Impacto da extração de lítio na economia e na sociedade.....	31
3. MÉTODOS E APLICAÇÃO	33
3.1. Armazenamento de energia.....	33
3.2. Tipos de bateria.....	33
4. CICLO DE VIDA DO LÍTIO.....	34
5. CONCLUSÕES.....	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1- Metodologia utilizada durante o processo de realização da presente dissertação	14
Figura 2 - Análise de Co-ocorrência para N=0	17
Figura 3 - Análise de Co-ocorrência para N=10	18
Figura 4 - Análise de Co-ocorrência para N=20	18
Figura 5 - Análise de Co-ocorrência para N=30	19
Figura 6 - Análise de Co-ocorrência das 5 keywords mais relevantes	20
Figura 7 – Nuvem de pontos dos autores mais relevantes	20
Figura 8 - Evolução da produção de Lítio 1925-2017, ((UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2020))	22
Figura 9 - Reservas de Lítio em milhões de tonelada (Quercus, 2019)	23
Figura 10 - Três formas de extração e processamento de Lítio em salmouras (Flexer et al., 2018)	27
Figura 11 - Ciclo de vida	34
Figura 12 - Problemas, Estratégias e abordagem para a sustentabilidade do ciclo de vida de uma bateria fonte (Chagnes & Swiatowska, 2015)	36

página propositadamente em branco

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Discriminação de processos de extração do Lítio em Recursos Hídricos (X. Li et al., 2019)	
.....	25
Tabela 2 – Riscos associados à exploração de Lítio (Oliveira, 2020).....	29

página propositadamente em branco

LISTAS DE SIGLAS E SÍMBOLOS

Lista de Siglas

Lítio	Li
Toneladas	Ton
Veículos Elétricos	VE
Metro	M
Quilometro	Km

página propositadamente em branco

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se o enquadramento e contextualização ao tema âmbito do trabalho da dissertação. Simultaneamente são definidos os objetivos, é apresentada a metodologia usada para se alcançar os objetivos propostos e, por fim, é descrita a estrutura do documento e os conteúdos a abordar em cada capítulo.

1.1. Objetivos

Os objetivos da dissertação são, respetivamente:

- Principal: a análise dos impactos da exploração ao fim de vida do lítio;
 - identificação dos principais desafios, riscos e impactos da exploração do lítio;
 - análise dos desafios, riscos e impactos do fim-de-vida do lítio.

1.2. Metodologias Científicas

A abordagem metodológica seguida foi do tipo indutivo, na medida que se pretende explorar os desafios, riscos e impactos decorrentes da exploração e do fim-de-vida do lítio. O método é do tipo qualitativo e a estratégia assente em análise documental. O horizonte temporal é do tipo transversal e as técnicas de obtenção de dados focaram-se na análise da literatura técnico-científica no âmbito em estudo e, simultaneamente, em documentação oficial sobre estudos desenvolvidos do lítio em diferentes geografias.

De forma a alcançar os objetivos definidos para esta dissertação, apresenta-se na figura 1 a metodologia utilizada, a qual inclui os seguintes pontos:

- Realização de uma recolha de bibliografia científica sobre o tema na base de dados científica “*webofscience*” com as seguintes palavras-chave: lítio, jazidas e reciclagem;
- Consulta de documentação sobre a exploração, classificação e reutilização do lítio, sendo ainda consultada informação complementar sobre empresas dedicadas à exploração/produção de lítio;
- Os dados recolhidos serão sistematizados, agrupados e tratados, com destaque para os temas da extração, exploração e poluição do lítio;
- A partir da análise dos resultados recolhidos serão apresentadas as principais conclusões;



Figura 1- Metodologia utilizada durante o processo de realização da presente dissertação

1.3. Contextualização

O desafio à sustentabilidade, decorrente do aquecimento global e da escassez de combustíveis fósseis para as atuais e futuras necessidades energéticas, conduziu à necessidade de identificar fontes de armazenamento de energia alternativas (Wilkinson et al., 2007).

A utilização massiva dos combustíveis fósseis é um dos fatores mais importantes associados ao progresso do fenómeno das alterações climáticas. Em especial, devido à produção dos 4 principais compostos químicos responsáveis pelo efeito de estufa, nomeadamente, o dióxido de carbono (CO₂), o metano, o óxido nitroso e os gases fluorados. De acordo com a evolução evidenciada, urge identificar novas formas de armazenamento de energia, onde se prefigura o lítio. Em acréscimo, a necessidade de atingir as metas de redução das emissões de dióxido de carbono e de gases para o efeito de estufa tem modificado, significativamente, a forma como é gerada a energia elétrica, nas últimas décadas (Luo et al., 2015). É neste cenário que se cria a necessidade de desenvolver as energias renováveis, uma fonte de energia verde (Oncel, 2017). No entanto, por dependerem de fatores naturais como o vento, o sol ou as marés, a sua produção apresenta flutuações (Wang et al., 2014). Por este motivo, é necessária uma gestão mais eficiente da energia produzida, isto é, garantindo o fornecimento de energia em períodos de maior carência e evitando desperdícios em momentos de necessidade mínima de energia. Por forma a obter uma maior eficiência do sistema elétrico, é imperativo que haja uma evolução dos sistemas de armazenamento de energia atuais (G. Li & Zheng, 2016).

Na necessidade de promover novas formas de combate à poluição, ressurgiu um mineral, totalmente bastante abundante, sendo o 25º elemento mais abundante na natureza. Inicia-se uma afincada pesquisa pelas suas características e utilidades. O lítio é um elemento químico abundante,

mas devido à sua composição química encontra-se sempre ligado com outros elementos, como por exemplo a água. O lítio concentrado pode ser encontrado ao nível terrestre e o marítimo. Ao nível marítimo está presente em salmouras continentais, águas doce e água do mar. O Lítio está, igualmente, presente em cerca 150 minerais, ao nível terrestre em especial nas argilas.

Atualmente, existem diversas tecnologias de armazenamento de energia: térmica, mecânica, química, elétrica e magnética (Abraham, 2015). O armazenamento de energia é bastante importante para minimizar o seu desperdício. Uma forma de armazenamento de energia elétrica é o uso de baterias (Luo et al., 2015), as quais se tornam indispensáveis nos sistemas atuais de transporte.

Algumas baterias construídas através do uso do mineral lítio têm vindo a sofrer um progressivo aumento de procura devido à sua elevada capacidade por unidade de massa e menor custo (Christy et al., 2010). O lítio tem um grande potencial eletroquímico e pode acumular grandes quantidades de energia (D. Li et al., 2021). No entanto, a exploração e processamento do lítio conduz a impactos sociais, ambientais e económicos. Por este motivo, esta dissertação abordará o estudo do ciclo de vida do lítio, desde a exploração ao seu descarte.

1.4. Estrutura da Dissertação

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos, sendo o resumo do seu conteúdo descrito a seguir:

- O Capítulo 1 apresenta a contextualização, descreve os objetivos e a metodologia seguida, terminando com a apresentação da estrutura da dissertação e com a descrição dos conteúdos abordados em cada capítulo;
- O Capítulo 2 é dedicado à pesquisa bibliográfica, focando as aplicações do lítio para armazenamento de energia elétrica, jazidas, extração de lítio e impactos (solo, ar, água/hídrico, sonoro, económico, social);
- O Capítulo 3 descreve a transformação do lítio em sistemas de armazenamento de energia e produção de lítio.
- O Capítulo 4 é sobre o ciclo de vida do lítio, sendo abordados os temas da sua Procura, Estudo, Preparação, Exploração, Aplicação e Reciclagem;
- No Capítulo 5 apresentam-se as conclusões gerais obtidas a partir da análise crítica dos resultados recolhidos, na sequência das quais são apresentadas propostas para a realização de trabalhos futuros.

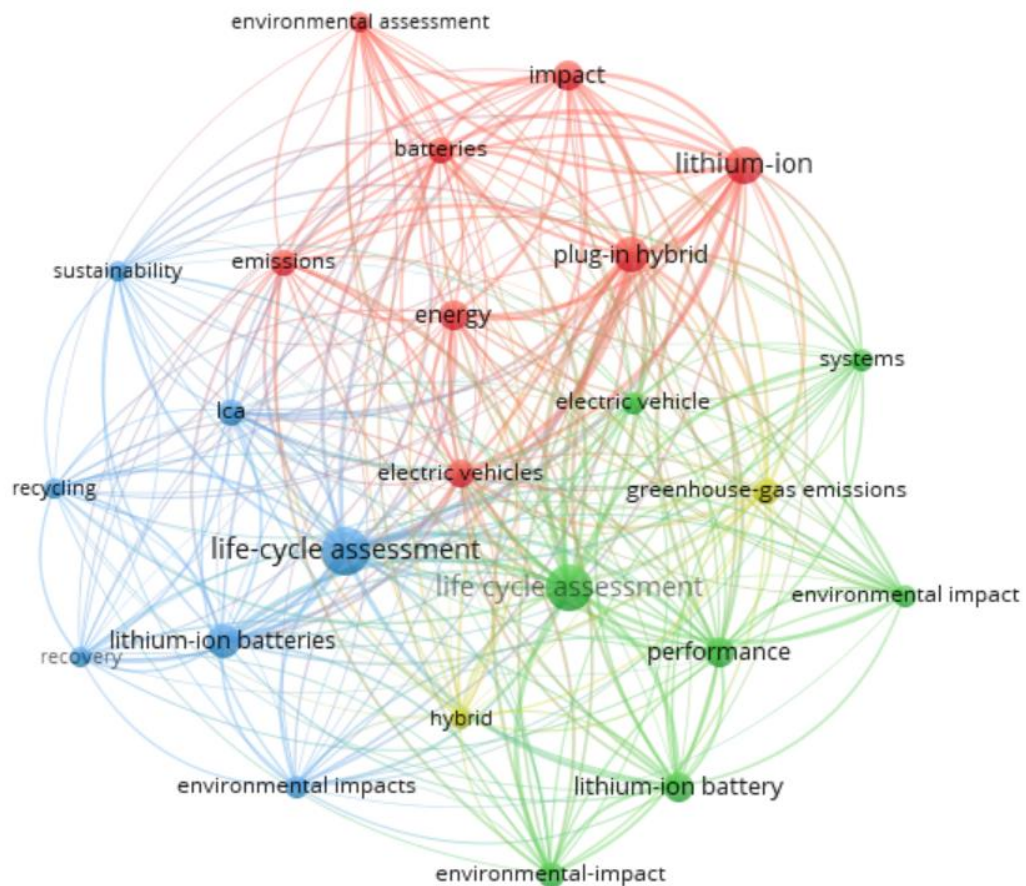


Figura 5 - Análise de Co-ocorrência para N=30

A análise de co-ocorrência permitiu, após várias tentativas aferir as palavras-chave mais revelantes para proceder à *query* final na base de dados e desta forma constituir o *dataset* de análise. Através da manipulação e ajuste dos parâmetros, com o objetivo de obter uma pequena gama de possíveis palavras-chaves, em que se destacam as seguintes 5 palavras-chave obtidas: *performance*, *life-cycle assessment*, *lithium ion batteries*, *plug-in hybrid*, *lithium-ion*.

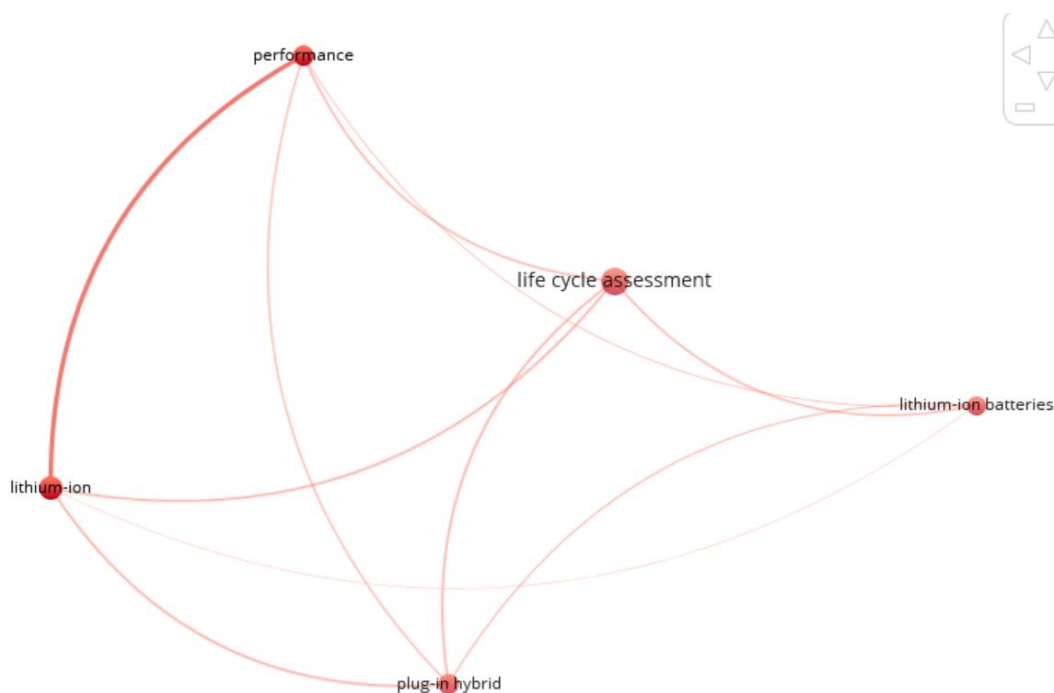


Figura 6 - Análise de Co-ocorrência das 5 keywords mais relevantes

O estudo bibliométrico tem como principal objetivo obter uma nuvem de pontos com ramificações onde se pode observar as interligação dos diferentes artigos e, desta forma, identificar os autores, fontes e artigos mais relevantes para proceder à análise bibliográfica. (Ver Figura 7)

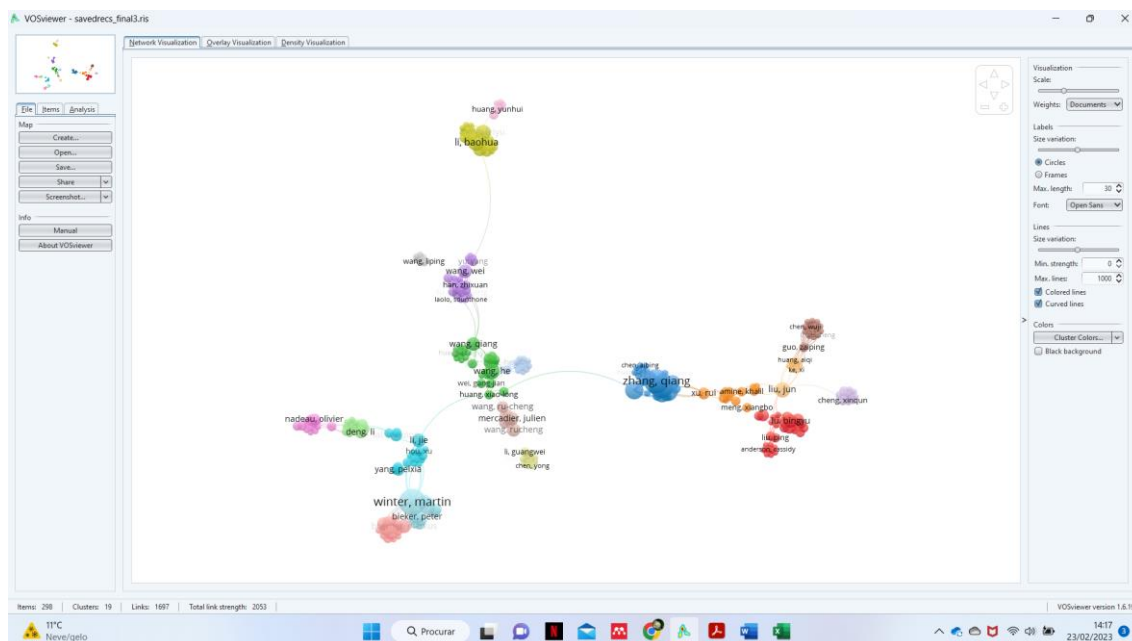


Figura 7 – Nuvem de pontos dos autores mais relevantes

2.2. Aplicações do lítio para o armazenamento de energia

O Lítio, morfologicamente é uma palavra grega “Lithos”, que significa “pedra”. Caracteriza-se como o mais leve dos metais presente na natureza de forma sólida, através de jazidas, minas e sob a forma líquida em águas salgadas também designadas por salmouras.

Pertence ao grupo dos metais alcalinos. Descoberto por José Bonifácio de Andrade e Silva entre 1797 e 1799, foi encontrado lítio, mais especificamente numa forma denominada petalite, numa localidade designada por *Utö*, na Suécia. O lítio, normalmente, encontra-se ligado devido ao seu número atómico três, o que resulta numa configuração eletrónica $1s^2 2s^1$, com a última camada não totalmente preenchida resulta na ligação a outros elementos químicos para se manter estável. Consegue ligar-se quimicamente com cerca de noventa espécies minerais como os silicatos, fosfatos, hidróxidos cloreto e ainda sob forma metálica.

Normalmente, no estado sólido, as formas mais comuns de se ligar designam-se por espodumena, criolite, escapolite e petalite, podendo observa-se com mais detalhe as suas propriedades.

O lítio, mais especificamente um metal alcalino, situa-se na tabela periódica na secção dos elementos alcalinos, relativamente à distribuição eletrónica pertence ao bloco S grupo 1. Sendo um metal alcalino tem como principais características ter uma massa volúmica de 535 kg/m^3 , maleável, dúctil, sólido, bom condutor elétrico e térmico, pontos de ebulição e fusão elevados. Reativo devido à sua distribuição eletrónica $1s^2 2s^1$, ou seja, poucos eletrões de valência o que confere uma tendência para formar catiões, monopositivos.

Relembrar, ainda, uma característica bastante importante reativo, reage com água formando hidróxidos e oxigénio (Velho, 2021).

O lítio é o primeiro elemento metálico da tabela periódica, sendo aplicado em diversos campos, tais como na medicina e na engenharia aeroespacial, sendo também utilizado no fabrico de diversos produtos, como esmaltes de vidro, refrigerantes e lubrificantes (Sun et al., 2021). As principais aplicações do lítio são o fabrico de baterias, vidros, lubrificantes, graxas e produtos farmacêuticos (Loganathan et al., 2014).

As aplicações em Portugal do lítio são na indústria cerâmica e do vidro e na indústria tecnológica. A indústria cerâmica e do vidro, possuem uma elevada implantação em Portugal. Esta indústria possui mundialmente cerca de 9 milénios de história. Portugal é um país historicamente conhecido pelas suas minas para extração de minérios que contribuíam para a indústria Cerâmica e vidreira, mas também para a venda de metais preciosos.

Ao longo dos séculos os cientistas e inventores começaram a construir ferramentas para facilitar o trabalho do homem, o exemplo mais pragmático é o aparecimento da roda. Este desenvolvimento acentuou-se no final do século XIX, ao longo do século XX cujo seguimento ocorre no atual século XXI, com o despertar para uma inovação e desenvolvimento das indústrias mecânica, computacional, elétrica e química. O Lítio é bastante importante devido às características que possui nestas indústrias através da sua aplicação no fabrico de baterias, ligas metálicas, medicamentos, polímeros.

As aplicações de Li têm acompanhado a evolução tecnológica nos últimos anos. Em 2001, cerca de 95% era destinado ao fabrico de baterias e em 2021 só 43% era destinado a baterias, 26% para o fabrico de vidro, 13 % para lubrificantes, prevendo-se em 2025 um aumento da utilização do lítio

no fabrico de baterias, 38% para veículos elétricos, 14% para E-bikes, 12% para baterias convencionais e 6% para armazenamento de energia. (Luiz de Sá Carneiro Chaves Geólogo et al., 2021), (X. Li et al., 2019)

Na Figura 8 pode observar-se a produção de Li em toneladas (Ton) nos anos de 1925 até 2017.

Pela análise da Figura 8, é possível identificar uma procura crescente do consumo de lítio a nível global e em especial a partir do 2000. A diversidade de aplicações existentes, bem como, o crescimento populacional e a elevada procura de produtos que supõem a utilização deste elemento químico o que potencia um estímulo forte para que seja possível detetar e explorar novas fontes de lítio por todo o potencial económico inerente. Contudo, há outras dimensões que devem ser adequadamente consideradas por forma a avaliar todas as externalidades que resultam do seu ciclo de vida.



Figura 8 - Evolução da produção de Lítio 1925-2017 ((UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY, 2020))

2.3. Depósitos de lítio

Neste tópico, pretende-se enunciar os depósitos de Li existentes, com vista a explicar as suas diferentes características.

Cerca de 70% do lítio é atualmente extraído de sais minerais encontrados em lagos de salmoura subterrâneos, sendo que é na Bolívia, no Salar de Uyuni, onde existe a maior oferta deste recurso a nível mundial. Os restantes 30% são extraídos de depósitos minerais, através de minas, como no caso de Portugal.

Na Figura 9 são apresentadas a localização das principais reservas mundiais de lítio em 2019. Relativamente aos dados recolhidos a Bolívia, Chile, China, Austrália, Argentina, Portugal, Estados Unidos da América, Brasil e Zimbabwe são os países com maiores reservas de lítio. A elevada procura de Lítio motivou que nos últimos anos a sua extração tenha evoluído positivamente (Quercus, 2019), (NS Energy Business, 2020)

A Austrália possui a maior reserva de lítio, sob a forma sólida, em seguida surgem a Bolívia, Chile e Argentina que possuem o chamado triângulo do lítio constituído por reservas de água, os quais formam a maior reserva de lítio a nível mundial (NS Energy Business, 2020).

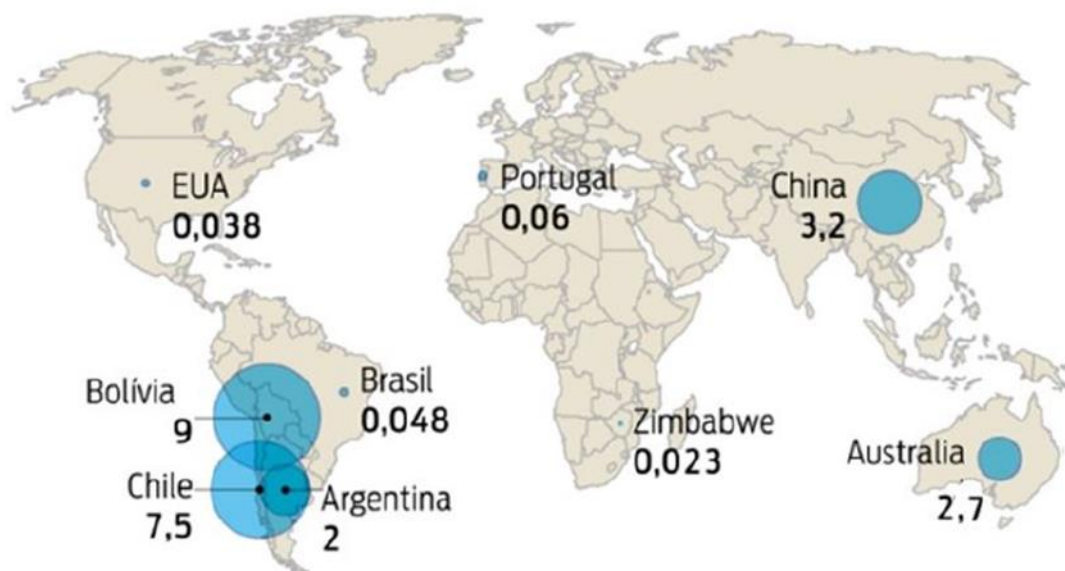


Figura 9 - Reservas de Lítio em milhões de tonelada (Quercus, 2019)

A Austrália, atualmente o maior produtor de lítio através da jazida de Greenbushes situada na parte ocidental do País, com a maior jazida de lítio a nível mundial, cuja produção é essencialmente de Espodumena (NS Energy Business, 2020). A exploração da mina iniciou-se em 1888, mas só 1985 é que foi dedicada à exploração do lítio (Talison Lithium, 2022).

No Chile, o 2º maior produtor em 2019, o deserto do Atacama é a maior fonte de produção de lítio através do processo de evaporação de depósitos de água, a partir de salmouras existentes no deserto (Gajardo & Redón, 2019), (NS Energy Business, 2020). De referir que a localização geográfica do Chile é próximo da Bolívia e da Argentina, constituem conjunto deste três países formam o que se designa por triângulo de lítio, os quais são detentores das maiores reservas de lítio em lagos salgados (Lunde Seefeldt, 2020), (NS Energy Business, 2020).

A Argentina, com o deserto Del Hombre Muerto, surge como a segunda maior reserva do mundo, tratando-se de uma salmoura. (Gruber et al., 2011), (NS Energy Business, 2020).

Jiajika é o maior depósito/jazida da China, a qual é o maior consumidor mundial de lítio devido à sua indústria produtora de veículos elétricos, telemóveis, relógios, entre outros aparelhos elétricos e eletrónicos (Zhang et al., 2021), (NS Energy Business, 2020). Em Portugal, a jazida com maior produção denomina-se de Mina do Barroso e é constituída essencialmente por Espodumena (Ribeiro et al., 2021), (NS Energy Business, 2020). Portugal possui depósitos nos distritos de Braga, Castelo Branco, Coimbra, Guarda, Porto, Vila Real e Viseu.

Por último surge a jazida de Bikita no Zimbábue, que está ativa desde 1950 (Kesler et al., 2012), (NS Energy Business, 2020).

2.4. Extração do lítio

Neste momento, a estimativa é que haja cerca de 39 milhões de toneladas de lítio na Terra, das quais apenas cerca de um terço está na forma passível de ser extraída. Cerca de 87% deste lítio extraível está em águas salgadas, enquanto a restante percentagem está em depósitos minerais de rocha dura (Quercus, 2019). A extração do lítio pode ser efetuada através de água salgada, bacias hidrográficas ou através de depósitos de lítio. A elevada procura de Lítio motivou que nos últimos anos a sua extração tenha evoluído positivamente (Chagnes & Swiatowska, 2015), (X. Li et al., 2019).

Descreve-se em seguida os processos de extração em meio líquido e sólido.

2.4.1. Salmouras

Os oceanos estão repletos de minerais, o lítio encontra-se entre os minerais que abundam na crosta oceânica (Loganathan et al., 2014). Os métodos atuais de extração de lítio, a partir de lagoas salgadas, passam por remover o excesso de água e precipitar os iões dissolvidos na forma de sais. As águas, com elevadas quantidades de iões dissolvidos dos quais incluem o lítio (entre 1500 e 6000 ppm), são bombeadas a partir do subsolo, a 1.5 m até 60 m de profundidade, para lagos rasos à superfície. As águas são posteriormente evaporadas e/ou filtradas, por forma a isolar o lítio e finalmente precipitá-lo na forma de um sal. (referencia)

Na Tabela 1 - Discriminação de processos de extração do Lítio em Recursos Hídricos (X. Li et al., 2019), na qual se pode observar a designação atribuída aos processos de extração de lítio do meio aquoso, bacias hidrográficas e suas características (X. Li et al., 2019).

Na tabela em análise, na 1ª coluna encontra-se a designação dos métodos de extração de lítio em meio aquoso (X. Li et al., 2019).

Na 2ª coluna está descrito, de forma sucinta, o mecanismo para a execução dos métodos de extração retratados na coluna 1. A 3ª coluna contém os recursos hídricos, o tipo de água necessária para os processos a executar. No caso água salgada, lago salino ou água salgada geotérmica. 4ª coluna apresenta o grau da Maturidade Tecnológica, fase de maturação e desenvolvimento que se encontram os métodos em análise e o nível da sua utilização. No seguimento, a 5ª coluna apresenta a eficiência de extração e recuperação do lítio. Por fim, na 6ª e 7ª colunas são apresentadas as vantagens e limitações de cada método, respetivamente.

Tabela 1 - Discriminação de processos de extração do Lítio em Recursos Hídricos (X. Li et al., 2019)

Discriminação de processos de extração do Lítio em Recursos Hídricos						
Método	Mecanismo	Recursos hídricos	Maturidade tecnológica	Eficiência da extração de lítio	Vantagens	Limitações
Membrana de nanofiltração	Impedimento estérico e exclusão de Donnan	Água do mar/ lago salino Água geotérmica salgada Água salgada	Escala completa	O fator de separação de Li^+ sobre Mg^{2+} é 2,6-10,4 e é 1815 com a membrana estrutura de metal orgânico	Pegada reduzida	Elevados investimento e custos de operação para incrustação da membrana
Fase líquida suportada em membranas	Transporte seletivo de íons através de membrana impregnada por solvente	Água do mar/ água geotérmica salgada	Fase de laboratório	Recuperação > 95%	Grande capacidade de adsorção, alta seletividade e pegada reduzida.	Vazamento de solvente orgânico e necessidade de utilização de reagente químico para dessorção
Membrana impregnada por íons	Adsorção seletiva de íons por quelação	Água do mar/ água geotérmica salgada	Fase de laboratório	O fator de separação de Li^+ sobre Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} é 4–51 A quantidade de adsorção é 4–50 mg g^{-1}	Alta seletividade.	Baixa capacidade de adsorção e necessidade de uso de reagente químico para dessorção
Membrana de peneira molecular	Adsorção seletiva de íons por intercalação	Água do mar/ água geotérmica salgada	Fase de laboratório	O fator de separação de Li^+ sobre Na^+ , K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} é 99–5312. A quantidade de adsorção é 10,3–27,8 mg g^{-1}	Grande capacidade de adsorção, alta seletividade e estabilidade química.	Vazamento de partículas inorgânicas e necessidade de uso de reagente químico para dessorção

Destilação por membrana com cristalização	Gradiente de pressão de vapor gerado através da membrana hidrofóbica	Água do mar/ lago salino Água geotérmica salgada Água salgada	Fase de piloto	Recuperação > 73%	Produce simultaneamente água doce e sais. Utilização de diferentes fontes de energia.	O humedecer da membrana resultante da incrustação e da separação de sal é uma questão crítica
Eletrodialise seletiva	Diferença de potencial elétrico como força motriz para iões em movimento	Água do mar/ lago salino Água geotérmica salgada Água salgada	Fase piloto	Recuperação > 95%	Alta seletividade de iões monovalentes e <i>eco-friendly</i>	Impregnação da membrana. O custo de energia aumenta com o aumento da salinidade.
Deionização capacitiva de membrana de troca de permeabilidade seletiva	Adsorção eletrostática	Água do mar/ lago salino Água geotérmica salgada Água salgada	Fase de laboratório	Recuperação > 83%	Alta eficiência e <i>eco-friendly</i>	Baixa eficiência de dessorção

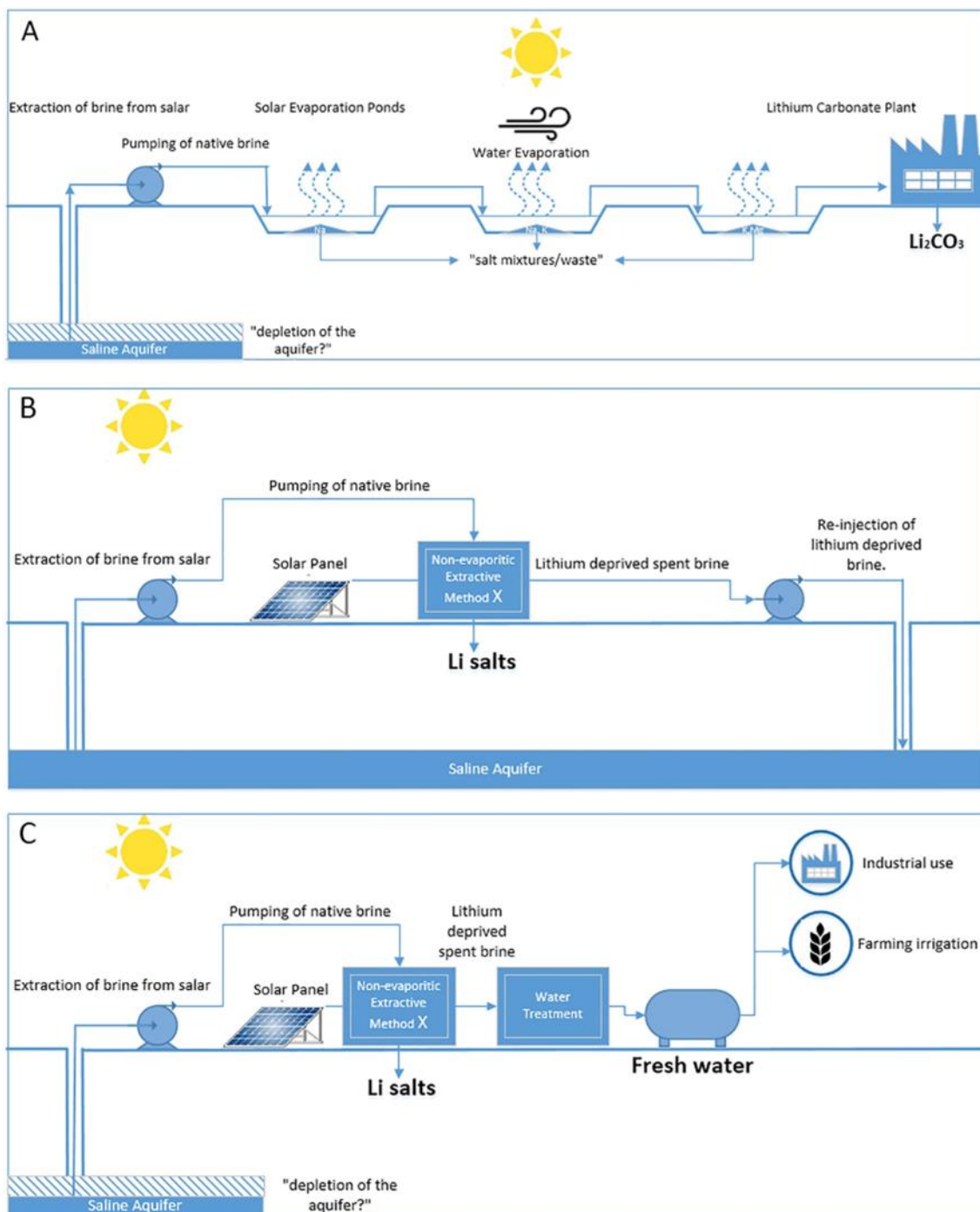


Figura 10 - Três formas de extração e processamento de Lítio em salmouras (Flexer et al., 2018)

A Figura 10 apresenta a tecnologia de evaporação para a extração de lítio em salmouras através de três diferentes processos (Flexer et al., 2018). Processo de evaporação da água (solar e eólicas) para extração do carbonato de lítio Figura 10 A (Flexer et al., 2018).

Processo físico e químico para extração do lítio, Figura 10 b), com reintrodução no aquífero dos restantes minerais. (Flexer et al., 2018)

Por último, processo químico para a extração do lítio, com tratamento da água para obtenção de água doce, para uso industrial e rega/irrigação, Figura 10 c) (Flexer et al., 2018)

Refira-se que a extração do lítio mais comum é na forma de carbonato de lítio, cuja fórmula química Li_2CO_3 (Flexer et al., 2018).

2.4.2. Meio Sólido

O processo de extração do lítio na crosta terrestre, também denominado rocha dura, ocorre normalmente em jazidas. Esta apresenta na primeira coluna as principais fontes de lítio do solo. No entanto, o lítio é um elemento extremamente reativo quando sozinho pelo que na natureza se encontra normalmente ligado a outros elementos. As respetivas características e especificações são apresentadas na 2ª coluna (Velho, 2021), (Zhao et al., 2019).

As três formas de mais comuns de lítio no meio sólido designam-se por *Espudema*, *Petalite* e *Lepidolite* (Flexer et al., 2018), (Velho, 2021).

2.5. Impactos

O lítio é obtido a partir de fonte seca ou húmida, respetivamente, através de extração jazidas ou águas salgadas (Velho, 2021). A crescente procura deste elemento químico, motivado pelo aumento no fabrico de baterias, tem obrigado à procura de novos locais de exploração lítio (Velho, 2021), (Arshad et al., 2022), (Direção Nacional de Energia e Geologia, 2022).

No caso de Portugal, durante algumas décadas viveu da exploração de minas e jazidas, com um enorme contributo a nível económico e social, através da criação de postos de trabalho e do desenvolvimento económico de zonas mais rurais (Morgado et al., 2020). Sucede que devido ao desconhecimento e negligência, nalguns destes locais sessou a exploração de minérios. Os resíduos perigosos não foram corretamente tratados e acondicionados, o que provocou impactos nas populações (Morgado et al., 2020)

“Veja-se, por exemplo, o caso de cerca de 230 000 t de resíduos industriais perigosos, provenientes da Siderurgia Nacional, que laborou entre 1976 e 1996 na Maia, depositadas em 2001-2002 nas escombreyras das minas de carvão de São Pedro da Cova, no concelho de Gondomar.... Ao longo os anos, esta situação tem sido motivo de muita contestação da comunidade local que organizou manifestações e vigílias.” (Morgado et al., 2020)

Reflexo destes acontecimentos, existe hoje uma forte contestação das populações à reativação ou criação de novas minas para exploração de minérios. Nos últimos, a descoberta que Portugal possui uma das maiores reservas de lítio da Europa, levou a que as populações se manifestassem contra a exploração deste minério na sua região, devido aos possíveis riscos ambientais. Apesar das atuais normas exigirem a aplicação de vários procedimentos que minimizam os riscos ambientais, a população continua a manifestar receio com a poluição, a contaminação das águas e solos, assim como, a degradação da saúde dos trabalhadores (Oliveira, 2020), (Morgado et al., 2020). Na Tabela 2 apresentam-se os principais os riscos humanos, ambientais e económicos associados à exploração do lítio.

Tabela 2 – Riscos associados à exploração de Lítio (Oliveira, 2020)

Riscos humanos	Riscos ambientais	Riscos económicos
- Danos para a comunidade - Lesões no local de trabalho - Sequelas psicológicas	Contaminação no local e fora do local (em áreas circundantes) - Da atmosfera - Da água - Do solo	- Danos nas propriedades - Criação de postos de trabalho - Responsabilidades legais - Combate ao isolamento de certas áreas

2.5.1. Erosão do solo e poluição do ar, hídrica e sonora

No decurso da extração do Lítio, acontecem alguns fenómenos que provocam alterações menos positivas como enunciado no tópico 2.5.1. podemos ocorrer situações de erosão do solo e poluição nas três vias mais conhecidas ar, água e sonora.

Os tópicos vindouros pretendem enunciar precisamente ocorrências, os pontos seguintes permitem algumas ideias sobre o mesmo:

- Aumento da exposição aos processos erosivos
- Destruição do solo natural da região
- Processo de arrastamento de materiais depositados;
- Compactação e impermeabilização dos solos;
- Compactação do solo;
- Ocupação do solo fértil
- Alteração da caracterização dos solos, acumulação de poeiras e resíduos de exploração;
- Desenvolvimento de processos erosivos;
- Destruição da capacidade potencial de uso agrícola;
- Inversão das camadas de solos;
- Restituir, ao solo, algum do potencial enquanto recurso natural.
- Contaminação dos solos pelos óleos utilizados na manutenção do equipamento móvel.

Medidas de mitigação

- Armazenar as terras de cobertura para posterior utilização;
- Fasear a desmatção e a remoção das terras;
- Revestimento adequado das terras para garantir a sua utilização

- Circulação de máquinas pesadas e viaturas condicionada às zonas de exploração e aos acessos construídos;
- Descompactação e arejamento dos solos afetados, no fim da vida útil do empreendimento;
- Armazenamento temporário em aterro e posterior aproveitamento;
- Adoção das medidas que evitam ou minimizem a libertação de poeiras;
- Fasear as operações de desmatção consoante a necessidade de novas frentes de trabalho, reduzindo a área de solo desnudada;
- Reutilização das operações de manutenção num edifício apetrechamento para o efeito;
- Armazenamento adequado das sucatas e óleos usados;
- Construção de uma bacia de retenção de óleos e posterior encaminhamento para empresa credenciada para o tratamento destes resíduos;
- Respeitar as medidas propostas de gestão de resíduos industriais;

Ao nível do solo e paisagem para efetuar a exploração do lítio existe uma alteração da paisagem vegetal através da remoção da vegetação. A necessidade de remoção do material que impede a remoção do lítio, ou seja, escavações. A inclusão de máquinas e acessórios que permitem a proteção do colaborador durante o processo de remoção e extração. A necessidade de separar o lítio do material/elemento químico a que está sujeito a tensões para quebrar ligações e obter o lítio.

As ações efetuadas com base nas necessidades ao nível da paisagem, desmatção vegetal, decapagem dos terrenos de cobertura, instalação de estruturas fixas de apoio à vítima. Escavação e desmonte do maciço mineral, deposição dos materiais rejeitados pela atividade, existência de equipamentos pesados móveis associados à extração e transporte, que percorrem toda a área da mina. Existência de uma unidade de tratamento e separação de minérios, assim como, de classificação e eliminação de inertes. Reconstituição de um solo com fertilidade suficiente para sustentar a reposição/instalação de um ecossistema adaptado, reflorestação da área de implementação da unidade industrial, viabilização de um sistema florestal e/ou silvo-pastoril económica e ambientalmente, modelação de topografia alterada de modo a que se ajuste o melhor possível à situação natural.

A remoção do solo para a extração do lítio conduz a alterações do ciclo geológico e, quando associado à ação das chuvas, secas e alterações climáticas, resulta no desgaste e erosão do solo (Velho, 2021), (Jentsch & Beyschlag, 2003), (Arshad et al., 2022). No processo de exploração de lítio em minas observa-se a fricção dos solos. Esta alteração nos solos deve-se à necessidade de remoção de alguma vegetação arbórea ou arbustiva nos locais da exploração das novas minas a céu aberto ou interiores (Oliveira, 2020), (Jentsch & Beyschlag, 2003).

As movimentações de terras por máquinas produzem alterações da fisionomia dos solos, na fauna e flora. A circulação de maquinaria, permite a abertura de acessos e a construção de infraestruturas para a unidade industrial. Estas ocorrem ao longo do processo de preparação e exploração do lítio (Lunde Seefeldt, 2020), (Oliveira, 2020). Na preparação do terreno para a exploração de uma mina

e no processamento do lítio são libertados poeiras e gases que degradam a qualidade do ar (Oliveira, 2020).

Os recursos hídricos, devem ser preservados da contaminação das minas. Os ambientalistas preocupam-se com o facto de o lítio ser um elemento quimicamente instável, o que significa que tem propensão em ligar-se quimicamente com outros elementos, podendo alterar quimicamente a água e torná-la nociva para a saúde (Flexer et al., 2018). Para prevenir a contaminação das áreas envolventes às minas, é necessário implementar processos de separação de resíduos, dos quais se faz menção na Tabela 1. As rochas possuem características próprias como sulfuretos que, ao reagirem com a água, produzem ácidos sulfúricos, contaminando os lençóis freáticos através da alteração do seu PH. Refira-se que em 2022 o país esteve perante uma escassez severa de água. Apesar da situação atual se ter regularizado, as populações continuam com os receios dos perigos associados à exploração. (Jentsch & Beyschlag, 2003), (Silva, 2020).

A poluição sonora ocorre durante as fases de construção, exploração e desativação. Esta traduz-se na perturbação do quotidiano da população e afeta a capacidade auditiva dos trabalhadores (Silva, 2020)(Martins Queiroz de Oliveira, 2020). A poluição sonora provém das vibrações resultantes da utilização de maquinaria (Silva, 2020).

2.5.2. Impacto da extração de lítio na economia e na sociedade

Associado à extração mineira surge o desenvolvimento económico da região, através da criação direta de emprego, para trabalhar na exploração mineira, ou criação indireta, para trabalhar na indústria transformadora, restauração, engenharia e ambiente. A elevada oferta de emprego proporcionado pela extração mineira conduz à migração da população para as regiões próximas da mina e resulta num crescimento da população na região (Velho, 2021).

A elevada procura e a escassez do lítio têm um forte reflexo na economia. Conforme mencionado, em Portugal há uma forte aposta na exploração de lítio devido ao elevado retorno financeiro e por possuir uma das maiores reservas europeias (Oliveira, 2020), (Velho, 2021). Com o acesso a estes depósitos de lítio Portugal pode tornar-se um produtor de baterias, tendo em conta que no momento possuem uma procura extremamente elevada e tendem para um crescimento exponencial (Oliveira, 2020). A exploração de lítio permite a criação de uma economia circular, através da criação diretos e indiretos de empregos. Em Boticas e após a realização de estudos sobre os impactos na sociedade, estima-se que serão criados cerca de oitocentos postos de trabalho, com a exploração da mina do Barroso (Savannah Resources, 2022).

Com o aumento da exploração destes depósitos, haverá necessidade de uma formação superior e técnica, o que permite a fixação dos jovens à região. O aumento da densidade populacional resultará na criação de postos de trabalhos indiretos (Silva, 2020).

As minas subterrâneas recorrem a explosivos para extração do minério. São ambientes normalmente tóxicos e, por isso, necessitam da utilização de máquinas e equipamentos muito específicos (Sardinha Caldeira, 2015). Por outro lado, as minas de céu aberto possuem a particularidade de serem mais seguras, permitem o uso de equipamentos de maiores dimensões e são, normalmente, mais lucrativas (Sardinha Caldeira, 2015).

Os estudos recentemente apresentam novas formas de reduzir as contaminações e evitar problemas futuros, por exemplo, a utilização de equipamento adequado reduz o risco dos trabalhadores adquirem no futuro doenças respiratórias por inalarem pós tóxicos inerentes (Velho, 2021), (Oliveira, 2020).

3. MÉTODOS E APLICAÇÃO

Neste capítulo é descrito o processo de armazenamento de energia. Desde alguns anos que se consegue produzir energia de várias formas, a partir do momento em que é necessária bastante energia surge o problema de armazenar a mesma e aí surgem alguns meios para acondicionar a energia por forma a voltar a reutilizar mais tarde (Korthauer, 2018; Zhao et al., 2019).

3.1. Armazenamento de energia

Atualmente existem algumas formas de armazenar energia, a energia elétrica passa pelo processo de transformação em energia mecânica ou química dependendo da forma de armazenamento. As formas mais eficientes de transformar e armazenar energia designam-se Bombardeamento hidroelétrico, ar comprimido armazenamento térmico, supercondutor, volantes de inércia (FLYWHEEL), Baterias e pilhas de combustível de hidrogénio (IBERDROLA, 2023). Esta dissertação dará destaque ao processo de armazenamento em baterias, uma vez que no seu fabrico é usado o lítio (IBERDROLA, 2023).

Designa-se por bateria todo o elemento com a capacidade de armazenar energia. A primeira bateria recarregável foi inventada por *Gaston Planté* em 1859, em que o componente principal era o chumbo. Na atualidade, as baterias deixaram de incorporar no seu fabrico este elemento químico por ser considerado tóxico para a saúde (Arshad et al., 2022).

As baterias surgiram da necessidade de armazenar e transportar a energia para um uso posterior, sendo desejável que esta possua elevada capacidade por unidade de volume ou massa e reduzido tempo carregamento (Arshad et al., 2022). O armazenamento da energia é obtido através de reações químicas, pelo que as propriedades químicas são essenciais para o elevado desempenho das baterias.

Nos correntes dias, o uso de baterias é essencial e diversificado. Alguns exemplos na indústria Automóvel, agrícola, informática, no fundo uso de baterias tornou-se imprescindível na maioria das ocasiões assim como se torna uma forma de poupança devido á sua capacidade de guardar energia a qualquer momento dependendo das quantidades (Velho, 2021)(Chagnes & Swiatowska, 2015; Korthauer, 2018; Scrosati, 2011).

3.2. Tipos de bateria

As baterias, dispositivos que permitem o armazenamento de energia através de um processo eletroquímicos. (Chagnes & Swiatowska, 2015; Zhao et al., 2019)

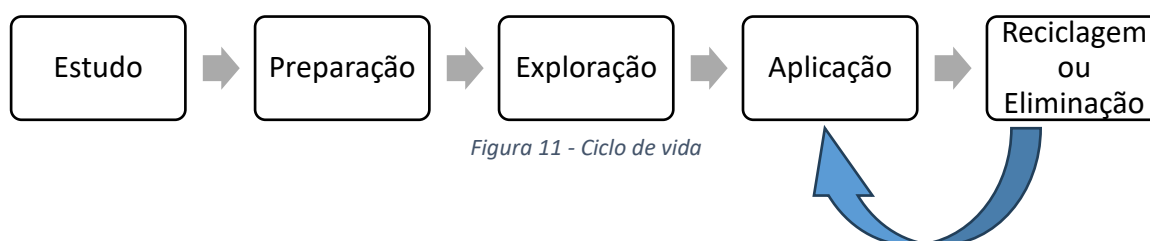
- Lithium Cobalt Oxide (Óxido de lítio-cobalto) - LCO
- Lithium Nickel Cobalt Aluminium Oxide (Óxido de lítio-níquel-cobalto alumínio) - NCA
- Lithium Nickel Manganese Cobalt Oxides (Óxido de lítio -níquel manganês-cobalto) - NMC
- Lithium Iron Phosphate (Fosfato de ferro de lítio) - LFP
- Lithium Manganese Oxide (Óxido de lítio-manganês) - LMO
- Lithium Iron Phosphate (Fosfato de ferro de lítio) – LFP

4. CICLO DE VIDA DO LÍTIO

Ciclo de vida, caracteriza-se pelos processos, alterações e transformações num processo ou elemento em concreto. Neste caso em concreto o ciclo de vida do lítio, sendo este um mineral, estende-se desde a sua descoberta nas jazidas e/ou salmouras, preparação e consequente exploração do local. Após a extração do minério é realizada a sua aplicação nas indústrias alvo. Esta fase do ciclo que varia consoante a aplicação e possível reutilização. Sendo por esse motivo a alteração na cor da seta do ciclo de vida de um mineral representado na Figura 11 - Ciclo de vida.

De uma forma muito sucinta pode caraterizar o processo do ciclo de vida do lítio desta forma.

A utilização de componente cuja constituição de Lítio possui vantagens e desvantagens associadas desde o custo, desempenho, aplicações, segurança, densidade.



A fase inicial do ciclo caracteriza-se pela procura de jazidas, salmouras onde possa ser explorado o lítio. Neste momento, os países maiores produtores de lítio são a Austrália, China e Chile.

Seguem-se as fases de Estudo e Preparação do local a ser explorado, o qual deve ser ponderado em função do seu impacto ambiental, socioeconómico e retorno financeiro. Nestas fases há um estudo dos locais onde se pode efetuar a exploração do lítio, e, por conseguinte, preparação do terreno para a extração do mesmo. Contudo, as maiores reservas de lítio, quer em Meio Aquoso quer em Meio Sólido, já se encontram mapeadas. No entanto novas reservas podem ser encontradas através da análise de imagens obtidas por satélite.

Uma das componentes mais importantes na exploração de lítio é evitar as contaminações durante a sua extração e processamento. Para tal, será necessário a formação adequada dos colaboradores para minimizar a ocorrência de acidentes ambientais. Recorde-se que o lítio é um elemento bastante instável com a propensão para a ligar-se a outros elementos químicos.

Após o Estudo e Preparação, surge a fase da Exploração.

Ao nível dos meio sólido existem quatro tipos mais comuns de mineração.

- Mineração de superfície - caracteriza-se por um processo de extração à superfície e a céu aberto (CUMMINS, 2023).
- Mineração subterrânea – caracteriza-se por um processo realizado quando os minerais se encontram nas profundezas uma mina de 300 m a 3 km. Por exemplo, a mina subterrânea mais profunda da Terra, a Mina de Ouro Mponeng, na África do Sul, tem profundidade operacional de mais de 3,1 km.(CUMMINS, 2023).

- Mineração de plácer – é o processo de separação de minerais através de uma peneira(CUMMINS, 2023).
- Lixiviação local - é o método usado para recuperar minerais da terra sem extrair a mistura de rochas e minério para a superfície. Esta envolve a injeção de uma solução que dissolve o mineral, sendo a mistura bombeada para a superfície. O mineral mais comum extraído na lixiviação é o urânio.(CUMMINS, 2023)

Segue-se a fase Aplicação do lítio no fabrico de baterias através da sua combinação com elementos cerâmicos.

Por último, surge a fase da Reciclagem ou da Eliminação, quando a bateria atingiu o seu fim de vida. O processo de Reciclagem procura extrair o lítio das baterias para poder ser reutilizado, com o intuito de reaproveitar existe uma enorme dificuldade pelo que as empresas nesta área, reciclam apenas alguns componentes porque não existem técnicas atualmente suficientemente sofisticadas para fazer a reciclagem de todos os elementos provenientes das baterias (Scrosati, 2011) .

O Prémio Nobel de Química do ano de 2022 foi destinado a três pioneiros no desenvolvimento de baterias recarregáveis de íões de lítio (Li-Ion). Estas baterias, são atualmente um componente vital dos carros elétricos. As baterias após a reciclagem ainda possuem entre 70 - 80% da sua capacidade original. Trata-se de um processo muito lucrativo, visto que por norma o dono dos veículos tem de pagar a reciclagem da bateria (CUMMINS, 2023).

Este processo abre novos desafios, mas acima de tudo pretende aumentar a sustentabilidade. “O conceito de sustentabilidade foi desenvolvido para melhorar os atuais padrões de vida humana, mantendo a disponibilidade dos recursos naturais para as gerações futuras.”(Chagnes & Swiatowska, 2015).(Hailes, 2022; Zhao et al., 2019)

Particularizando a utilização do lítio em baterias, podemos identificar dois grandes grupos de questões associados a esta utilização, como se vê na Figura 12, nomeadamente problemas ambientais tidos como sérios ou normas específicas. De seguida é selecionada uma estratégia de melhoria/otimização consoante o material, o processo de produção, a fase de utilização e o desenvolvimento dos tratamentos no final do ciclo de vida. Por fim é adotada uma abordagem que permita a sustentabilidade do ciclo de vida da bateria (Chagnes & Swiatowska, 2015).

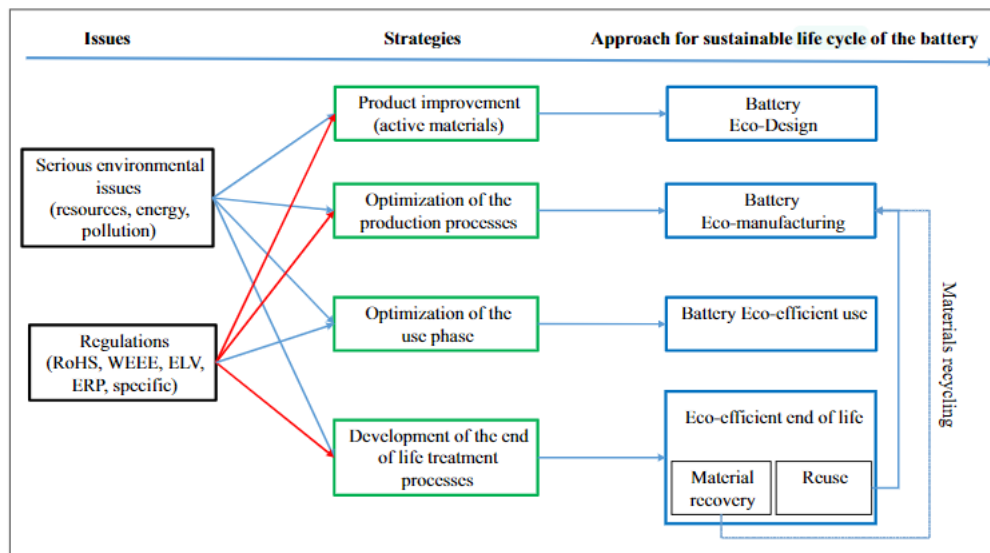


Figura 12 - Problemas, Estratégias e abordagem para a sustentabilidade do ciclo de vida de uma bateria fonte (Chagnes & Swiatowska, 2015)

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho de dissertação foi apresentado um estudo sobre os diferentes processos de extração de lítio e os seus impactos socioeconómicos e ambientais.

À semelhança da extração de outros minerais constata-se que existem consequências após a extração de minerais do solo. Estas consequências iniciam-se logo através do processo de desmatção do local de exploração através da alocação de matérias, matérias e acessórios que permitem a extração. Desta forma é essencial encontrar soluções que evitem ou mitiguem a contaminação dos solos, águas, bem como as doenças do foro auditivo.

Como principais limitações destacam-se a escassez de informação fidedigna e de estudos científicos disponíveis que incidam sobre a análise do ciclo de vida do lítio e que ponderem todos os diferentes *trade-offs* associados nas dimensões: ambiental, económica e social.

De futuro, seria interessante promover uma estratégia de circularidade como a Reciclagem de lítio algo extramente atual e que devido aos impactes ambientes que tem vindo a ter deve ser explorado. Simultaneamente, novas formas de transporte de lítio deveriam ser exploradas, na mediada em que este é um mineral extremamente instável e que reage com água.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, K. M. (2015). Prospects and Limits of Energy Storage in Batteries. *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 6(5), 830–844. <https://doi.org/10.1021/jz5026273>
- Arshad, F., Lin, J., Manurkar, N., Fan, E., Ahmad, A., Tariq, M. un N., Wu, F., Chen, R., & Li, L. (2022). Life Cycle Assessment of Lithium-ion Batteries: A Critical Review. Em *Resources, Conservation and Recycling* (Vol. 180). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106164>
- Chagnes, A., & Swiatowska, J. (2015). Lithium process chemistry: Resources, extraction, batteries, and recycling. Em *Lithium Process Chemistry: Resources, Extraction, Batteries, and Recycling*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-19081-2>
- Christy, M., Jisha, M. R., Kim, A. R., Nahm, K. S., Yoo, D. J., & Suh, E. K. (2010). Pyrolytic carbon derived from sorona as anode materials for Li ion batteries. *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 17(5).
- CUMMINS. (2023). *Tipos de Mineração*. <https://www.cummins.com/pt/engines/mining/types-of-mining>.
- Direção Nacional de Energia e Geologia. (2022). *Direção Nacional de Energia e Geologia*. <https://www.dgeg.gov.pt/pt/>
- Flexer, V., Baspineiro, C. F., & Galli, C. I. (2018). Lithium recovery from brines: A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. *Science of The Total Environment*, 639, 1188–1204. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.223>
- Gajardo, G., & Redón, S. (2019). Andean hypersaline lakes in the <scp>Atacama Desert</scp> , northern <scp>Chile</scp> : Between lithium exploitation and unique biodiversity conservation. *Conservation Science and Practice*, 1(9). <https://doi.org/10.1111/csp2.94>
- Gruber, P. W., Medina, P. A., Keoleian, G. A., Kesler, S. E., Everson, M. P., & Wallington, T. J. (2011). Global Lithium Availability. *Journal of Industrial Ecology*, 15(5), 760–775. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2011.00359.x>
- Hailes, O. (2022). Lithium in International Law: Trade, Investment, and the Pursuit of Supply Chain Justice. *Journal of International Economic Law*, 25(1), 148–170. <https://doi.org/10.1093/jiel/jgac002>
- IBERDROLA. (2023). *IBERDROLA*. <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/armazenamento-eficiente-de-energia>.
- Jentsch, A., & Beyschlag, W. (2003). Vegetation ecology of dry acidic grasslands in the lowland area of Central europe. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 198(1), 3–25. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00071>
- Kesler, S. E., Gruber, P. W., Medina, P. A., Keoleian, G. A., Everson, M. P., & Wallington, T. J. (2012). Global lithium resources: Relative importance of pegmatite, brine and other deposits. *Ore Geology Reviews*, 48, 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2012.05.006>
- Korthauer, R. (2018). Lithium-ion batteries: Basics and applications. Em *Lithium-Ion Batteries: Basics and Applications*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-53071-9>
- Li, D., Guo, S., He, W., King, M., & Wang, J. (2021). Combined capacity and operation optimisation of lithium-ion battery energy storage working with a combined heat and power system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 140, 110731. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110731>
- Li, G., & Zheng, X. (2016). Thermal energy storage system integration forms for a sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, 736–757. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.076>
- Li, X., Mo, Y., Qing, W., Shao, S., Tang, C. Y., & Li, J. (2019). Membrane-based technologies for lithium recovery from water lithium resources: A review. *Journal of Membrane Science*, 591, 117317. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2019.117317>

- Loganathan, P., Naidu, G., & Vigneswaran, S. (2014). From chip-in-a-lab to lab-on-a-chip: towards a single handheld electronic system for multiple application-specific lab-on-a-chip (ASLOC). *Cite this: Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 3, 37. <https://doi.org/10.1039/c6ew00268d>
- Luiz de Sá Carneiro Chaves Geólogo, M., Heinis Dias, C., & Kroeling Rodrigues Cardoso, D. (2021). *LÍTIO*.
- Lunde Seefeldt, J. (2020). Lessons from the Lithium Triangle: Considering Policy Explanations for the Variation in Lithium Industry Development in the “Lithium Triangle” Countries of Chile, Argentina, and Bolivia. *Politics & Policy*, 48(4), 727–765. <https://doi.org/10.1111/polp.12365>
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M., & Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 137, 511–536. <https://doi.org/10.1016/J.APENERGY.2014.09.081>
- Morgado, M., Bonito, J., Medina, J., Rebelo, D., Marques, L., & Soares de Andrade, A. (2020). *Contestação e dúvida ambiental sobre a exploração do lítio em Portugal: Contribuição da educação em Geociências para uma educação cidadã*.
- NS Energy Business. (2020). *NS Energy Business*. <https://www.nsenergybusiness.com/features/top-lithium-producing-countries/>
- Oliveira, C. (2020). *Riscos inerentes à exploração de lítio em Portugal*.
- Oncel, S. S. (2017). Green energy engineering: Opening a green way for the future. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3095–3100. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.10.158>
- Quercus. (2019). *Industria Mineração de Lítio em expansão*. <https://alertalitio.quercus.pt/industria-mineracao-de-litio-em-expansao/>
- Ribeiro, T., Lima, A., & Vasconcelos, C. (2021). The need for transparent communication in mining: a case study in lithium exploitation. *International Journal of Science Education, Part B*, 11(4), 324–343. <https://doi.org/10.1080/21548455.2021.1999530>
- Sardinha Caldeira, A. P. (2015). *Impactes ambientais associados à Exploração Mineira: Estudo de alguns riscos na vida das plantas e dos animais*. <http://www.dn.pt/pesquisa.html?q=a%20caveira%20que%20envenena%20o%20ecossistema%20mina%20da%20caveira%20gr%C3%A2ndola>
- Savannah Resources. (2022). *Estudo de impacto ambiental*. <https://minadobarroso.com/estudo-de-impacte-ambiental/>
- Scrosati, B. (2011). History of lithium batteries. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/s10008-011-1386-8>
- Silva, I. (2020). *O FUTURO DO LÍTIO EM PORTUGAL EM 2030: UM EXERCÍCIO DE PROSPETIVA*.
- Sun, Y., Wang, Q., Wang, Y., Yun, R., & Xiang, X. (2021). Recent advances in magnesium/lithium separation and lithium extraction technologies from salt lake brine. *Separation and Purification Technology*, 256, 117807. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117807>
- Talison Lithium. (2022). *Talison Lithium*.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. (2020). *UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY*. <https://www.usgs.gov/centers/national-minerals-information-center/lithium-statistics-and-information>
- Velho, J. L. (2021). *Lítio: Um Guia para o Século XXI* (1ª Edição). LdG-Livros de Geociências.
- Wang, R., Wang, P., Xiao, G., & Gong, S. (2014). Power demand and supply management in microgrids with uncertainties of renewable energies. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 260–269. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.05.067>
- Wilkinson, P., Smith, K. R., Joffe, M., & Haines, A. (2007). A global perspective on energy: health effects and injustices. *The Lancet*, 370(9591), 965–978. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(07\)61252-5](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(07)61252-5)
- Zhang, H., Tian, S., Wang, D., Li, X., Liu, T., Zhang, Y., Fu, X., Hao, X., Hou, K., Zhao, Y., & Qin, Y. (2021). Lithium isotope behavior during magmatic differentiation and fluid exsolution in the Jiajika granite–pegmatite deposit, Sichuan, China. *Ore Geology Reviews*, 134, 104139. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104139>

Zhao, S., He, W., & Li, G. (2019). Recycling technology and principle of spent lithium-ion battery. Em *Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries: Processing Methods and Environmental Impacts*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-31834-5_1

