

# A reciclagem de baterias íon-lítio aliada aos ODS

Marisa Franzoni (CTI) mfranzone@cti.gov.br

## Resumo

*O desenvolvimento econômico e a inovação tecnológica têm aumentado a demanda por vários recursos minerais, entre eles, o lítio, que é amplamente utilizado na fabricação de baterias íon-lítio (LIBs). Apesar de os impactos socioambientais gerados ao longo da vida do produto serem relativamente conhecidos, e a reciclagem de baterias usadas amenizar parcialmente esses impactos, como a escassez de recursos naturais e a emissão de poluentes, as pesquisas divergem quanto à sua sustentabilidade. Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas têm sido amplamente utilizados como forma de orientar a condução de uma sociedade mais equitativa e preservar os recursos naturais, enquanto o método de Análise do Ciclo de Vida (ACV) apresenta potencial para identificar pontos críticos dos ODS, apontar como cada um é atingido e sugerir como cada um desses pontos poderá ser enfrentado. O objetivo deste artigo é contribuir com o desenvolvimento de uma estrutura de avaliação da sustentabilidade a partir da integração ACV e ODS voltada à LIB. Cada etapa da estrutura será detalhada. Concluímos que a reciclagem deve estar no centro de uma agenda de compromissos com a sustentabilidade das LIBs.*

*Palavras-chave: Reciclagem, Baterias íon-lítio, ODS, Agenda de Compromissos com a Sustentabilidade.*

## 1. Introdução

A preocupação atual com a redução de emissão de carbono aumentou a demanda global por baterias de íon de lítio (LIBs) e, conseqüentemente, sua produção. De acordo com Tabelin (2021), mais de 60% do lítio produzido em 2019 foi utilizado para a fabricação de Libs. Apesar desse aumento, preocupações importantes estão relacionadas à extração e produção da matéria prima, como crise hídrica, repartição de benefícios locais da mineração industrial, aumento da pobreza, entre outros. A reciclagem é vista como uma alternativa para enfrentar e amenizar parcialmente esses problemas.

Os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) é um caminho promissor no sentido de conduzir uma sociedade mais equitativa, e apontar se a população direta e indiretamente envolvida com um determinado ciclo de vida está sendo impactada, bem como, de que forma o meio ambiente está sendo afetado. Nesse sentido, a Análise do Ciclo de Vida (ACV) tem sido utilizada como um método com potencial de identificar não somente os pontos críticos dos ODS, mas como cada um desses pontos poderá ser enfrentado (UNEP, 2020). Por essa razão, muitas pesquisas voltadas ao estudo e avaliação da sustentabilidade têm utilizado a ACV como um método de avaliação mais preciso. O objetivo deste trabalho é contribuir com o desenvolvimento de uma estrutura de Avaliação do Ciclo de Vida a partir dos ODS, com foco na reciclagem de LIBs.

Do ponto de vista metodológico foi realizada a Avaliação do Ciclo de Vida das LIBs, o mapeamento dos ODS com foco nessas baterias, a formulação de indicadores com potencial de mensurar a sustentabilidade das baterias e uma Revisão Sistemática com foco na integração ODS e ACV. Buscou-se analisar como os ODS são impactados na etapa de reciclagem, o que nos permitiu elaborar um conjunto de diretrizes para as LIBs rumo ao cumprimento dos ODS.

## 2. Referencial Teórico

A transição para uma tecnologia limpa depende de alguns minerais que deverão suprir as necessidades desse novo modelo sustentável de desenvolvimento, e os sistemas de tecnologia voltados aos setores de transporte e armazenamento de energia vem ocupando lugar de destaque e, como consequência, renovando o interesse pelo lítio (GRAHAM et al., 2021; TABELIN et al., 2021). Considerando sua ampla aplicação em diferentes áreas de alta tecnologia (ZIEGLER, 2021), é um componente importante das baterias íon-lítio (LIBs), que são largamente utilizadas em tecnologias consideradas sustentáveis (TABELIN, 2021; HABIB, 2020; WANITSCHKE & HOFFMANN *apud* TABELIN et al., 2020; ZIEGLER, 2021). A perspectiva de que a demanda crescente por lítio na indústria de baterias permanecerá nos próximos anos pode ser atribuída ao fato de que muitos governos já iniciaram o investimento em tecnologias sustentáveis e, assim, pretendem dar continuidade aos sistemas que independam do carbono (WANITSCHKE & HOFFMANN, 2020 *apud* TABELIN et al., 2021). As pesquisas voltadas à disponibilidade de recursos de lítio (TEBELIN, 2021), aos impactos socioambientais (HEREDIA et al., 2020) e econômicos (SHOLICHAH et al., 2020) e sua disponibilidade futura (HABIB et al., 2020) são importantes para elucidar e orientar tomadas de decisões mais sustentáveis.

Os ODS foram formulados com a intenção de orientar a busca por uma vida mais próspera para todos (NAÇÕES UNIDAS, 2015). Apesar de criados com a finalidade de serem utilizados e aplicados de forma global, as Nações Unidas reconhecem que os ODS são suficientemente maleáveis para contemplar as diferentes realidades, capacidades e níveis de desenvolvimento, respeitando, portanto, as políticas e prioridades nacionais, valorizando dimensões regionais, sub-regionais e a integração econômica da região (AGUSDINATA et al., 2018).

Os impactos gerados no uso das baterias têm implicação direta com a fase final da cadeia das LIBs. O descarte pode ocorrer por meio do aterramento e da reciclagem. O primeiro reduz a qualidade da saúde das populações humanas, bem como da flora e fauna, e os trabalhadores podem ser expostos a produtos químicos e acidentes devido à explosão de LIBs (CHRISTENSEN et al., 2021; COSTA et al., 2021). O aterramento também representa um desperdício de materiais críticos, que foram extraídos de fontes não renováveis.

Nesse contexto, a reciclagem das baterias tem um papel importante para a sustentabilidade do meio ambiente, da economia e dos seres humanos (LIU et al., 2019). A recuperação do lítio no processo de reciclagem reduz a extração do minério virgem que precisa ser extraído e processado (RAJAEIFAR et al., 2021). Os vários processos que envolvem a reciclagem de LIBs tem o potencial de trazer desenvolvimento para pessoas em situação de vulnerabilidade, e criar novas oportunidades de negócios para trabalhadores e comunidades envolvidas nas etapas anteriores da cadeia de suprimento, mas pouco beneficiadas. O uso de materiais reciclados e recuperados tende a estabilizar os preços dos materiais, requer menos energia do que a produção com materiais virgens e fornece energia doméstica (OLIVETTI, 2022). Além disso, a reciclagem de baterias se tornará uma parte importante da economia circular no futuro (BAARS et al., 2020). Apesar do grande número de artigos que abordam diferentes formas de alcançar os ODS, e da vasta literatura que contempla a ACV, a integração entre esses temas é pouco explorada. Esta pesquisa está inserida em um projeto mais amplo intitulado Lithium and Cobalt recovery from batteries coming from the reverse logistic chain WEEE. ERA-MIN 2: Research & Innovation (R&I) Funding Programme on Raw Materials to foster Circular Economy.

### 3. Metodologia

- Mapeamento do Ciclo de vida da LIB. O desenvolvimento dessa etapa tornou possível identificar os materiais, recursos e processos necessários para a produção das LIBs, bem como a localização geográfica de cada etapa do ciclo de vida. Essa etapa foi realizada a partir de busca nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*, em literatura revisada por pares.

- Análise das associações entre ODS e o ciclo de vida das baterias. Cada uma das 169 metas foi analisada para cada etapa do ciclo de vida. Desenvolveu-se uma associação visual com as cores vermelha, amarela e verde para identificar se a meta estava associada ou não às etapas do ciclo de vida.

- Elaboração de um mapa causal de todas as metas associadas após a agregação e redefinição. A partir do mapa causal foi organizado um Diagrama Vertical composto por cinco eixos centrais: gestão para a sustentabilidade; cidadania e inclusão, saúde; desenvolvimento econômico e meio ambiente/impactos ambientais.

- Definição das categorias de impacto. Com base na hierarquia de causa e efeito do mapa final, foi possível identificar as categorias de impacto de ponto médio, onde os indicadores são medidos.

### 4. Discussão/Resultados

#### 4.1. Mapeamento do Ciclo de Vida.

A partir do conhecimento sobre os materiais que compõem as baterias - cátodo (eletrodo positivo), ânodo (eletrodo negativo), eletrólito (condutor iônico), separador (membrana polimérica) e invólucro, foi possível mapear o sistema do produto das LIBs, “do berço ao túmulo” A produção de LIBs envolve diversas cadeias de produção, nomeadamente, mineração de metais e materiais carbonáceos, extração de petróleo e seus derivados, indústria química no refino e produção dos materiais de cada componente, produção e montagem das baterias. Além disso, o foco desse estudo estava em LIBs utilizadas nos eletrônicos de consumo, como smartphones e notebooks, o que inclui a montagem destes produtos no limite do sistema. As etapas relacionadas ao fim de vida envolvem o descarte, coleta, triagem, processos de reciclagem e aterro. Apesar da variabilidade e incertezas associadas à fase de uso, essa também foi incluída na análise, pois existe potencial de impactos positivos e negativos do uso dos produtos finais.

#### 4.2. Associações entre ODS e o ciclo de vida das baterias

A Tabela 1 apresenta o resultado da associação do ODS 16 e respectivas metas, apesar de a associação ter sido realizada para todos os ODS e metas. Essa etapa de triagem possibilitou selecionar as metas nas quais o ciclo de vida da LIBs pode impactar, tanto positivamente quanto negativamente. Seguindo-se a abordagem metodológica desenvolvida, as 93 metas marcadas com as cores verde e amarelo foram selecionadas para a próxima etapa. As metas marcadas em vermelho foram excluídas, pois não estavam associadas ao ciclo de vida das LIBs.

ODS 16 - Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis	Etapas do Ciclo de Vida - Bateria					
	Exatção de Recursos Naturais	Beneficiamento	Produção de Materias primas (químicos/outras)	Manufatura	Uso	Fim de Vida (aterro/reciclagem)
<b>METAS</b>						
16.1 - Reduzir significativamente todas as formas de violência e as taxas de mortalidade relacionada em todos os lugares						
16.2 - Acabar com abuso, exploração, tráfico e todas as formas de violência e tortura contra crianças						
16.3 - Promover o Estado de Direito, em nível nacional e internacional, e garantir a igualdade de acesso à justiça para todos						
16.4 - Até 2030, reduzir significativamente os fluxos financeiros e de armas ilegais, reforçar a recuperação e devolução de recursos roubados e combater todas as formas de crime organizado						
16.5 - Reduzir substancialmente a corrupção e o suborno em todas as suas formas						
16.6 - Desenvolver instituições eficazes, responsáveis e transparentes em todos os níveis						
16.7 - Garantir a tomada de decisão responsiva, inclusiva, participativa e representativa em todos os níveis						
16.8 - Ampliar e fortalecer a participação dos países em desenvolvimento nas instituições de governança global						
16.9 - Até 2030, fornecer identidade legal para todos, incluindo o registro de nascimento						
16.10 - Assegurar o acesso público à informação e proteger as liberdades fundamentais, em conformidade com a legislação nacional e os acordos internacionais						
16.a - Fortalecer as instituições nacionais relevantes, inclusive por meio da cooperação internacional, para a construção de capacidades em todos os níveis, em particular nos países em desenvolvimento, para a prevenção da violência e o combate ao terrorismo e ao crime						
16.b - Promover e fazer cumprir leis e políticas não discriminatórias para o desenvolvimento sustentável						

TABELA 1: Associações entre o ODS16 e o ciclo de vida das LIBs.

### 4.3. Diagrama eixos e categorias de impactos

Após a seleção e agrupamento das metas associadas ao ciclo de vida das LIBs, e algumas terem sido renomadas ou extintas, foi elaborado um mapeamento causal voltado à identificação da relação de hierarquia entre as metas. O diagrama organizado com o resultado desta etapa (Fig. 02) mostra a reinterpretação dos ODS no contexto do ciclo de vida das LIBs para o eixo Gestão para a Sustentabilidade. Para cada eixo foram identificadas as categorias macro e subcategorias; estas representam os objetivos operacionais, e são marcadas com a cor verde. O mapeamento causal serviu para identificar as categorias de impacto de ponto médio, onde os indicadores são medidos.

EIXOS	CATEGORIA	BATERIAS SUSTENTÁVEIS			Indicador	Unidade de Medida		
		SUBCATEGORIAS NÍVEL 1	SUBCATEGORIAS NÍVEL 2	SUBCATEGORIAS NÍVEL 3				
GESTÃO PARA A SUSTENTABILIDADE	CONSERVAÇÃO	INCIDÊNCIA DE CORRUPÇÃO			-Número de processos de corrupção relatados e criminalizados por etapa do ciclo de vida no último ano.	Unidade		
	EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE	NÍVEL DE EFICIÊNCIA E PRODUTIVIDADE			-Taxa de eficiência no ciclo de vida das baterias no último ano;	%		
					-Taxa de produtividade no ciclo de vida das baterias no último ano.	%		
	POLÍTICAS DE DESENVOLVIMENTO	MEDIDAS DE MUDANÇA DO CLIMA	CAPACIDADE E PLANEJAMENTO PARA MUDANÇAS DO CLIMA			-Número de projetos destinados a aumentar a resiliência às mudanças climáticas no ciclo de vida no último ano.	Unidade	
						-Investimento em dólares em ações para redução das mudanças climáticas por país no último ano.	Dólares/ano	
		MANEJO FLORESTAL	FINANCIAMENTO DO MANEJO FLORESTAL			-Montante (em dólares americanos) destinado ao financiamento para o manejo florestal por etapa do ciclo de vida, no último ano.	Dólares/ano/etapa	
						-Área de floresta por etapa do ciclo de vida no último ano.	m <sup>2</sup>	
		FORTALECER AS INSTITUIÇÕES	APOIO A PEQUENAS E MÉDIAS EMPRESAS (PME)	ACESSO A SERVIÇOS FINANCEIROS			-Proporção de PME com empréstimos contados ou linhas de crédito por etapa do ciclo de vida, por país no último ano.	%
					ACESSO A SERVIÇOS FINANCEIROS PARA INDÚSTRIAS			-Proporção de indústrias com acesso aos serviços financeiros por etapa do ciclo de vida no último ano.
	ACESSO A SERVIÇOS FINANCEIROS PARA PEQUENAS EMPRESAS					-Proporção de pequenas empresas com acesso aos serviços financeiros por país no último ano.	%	
		ACESSO A SERVIÇOS FINANCEIROS PARA TRABALHADORES				-Proporção de trabalhadores com acesso aos serviços financeiros por etapa do ciclo de vida no último ano.	%	
	INFRAESTRUTURA MODERNA, RESILIENTE, SUSTENTÁVEL		TECNOLOGIAS E PROCESSOS LIMPOS			-Quantidade de unidades liberadas para o ar, água e solo, por processo e tecnologia, por etapa do ciclo de vida no último ano.	Unidade de medida	
		ACESSO UNIVERSAL À TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO (TIC)				-Porção de trabalhadores por sexo, por idade, por raça, com acesso à TIC (a internet) no ciclo de vida das baterias no último ano.	%	
	INSTITUIÇÕES EFICAZES E TRANSPARENTES	RELATÓRIOS DE SUSTENTABILIDADE				-Número de empresas que elaboram relatórios de sustentabilidade (Ex: GRI, Compustance) por etapa do ciclo de vida no último ano.	Unidade	
	CAPACIDADE CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA	INOVACÃO				-Número de patentes comercializadas por etapa do ciclo de vida das baterias no último ano.	Unidade	
GASTOS PÚBLICOS E PRIVADOS COM P&D					-Despesa total em P&D em proporção ao Produto Interno Bruto (PIB) por país no último ano.	Dólares/ano		
		TRABALHADORES DE P&D				-Despesa total em P&D em proporção ao lucro bruto por etapa do ciclo de vida no último ano.	Dólares/ano	
GERAÇÃO E MANEJO DE RESÍDUOS QUÍMICOS	MANEJO DE PRODUTOS QUÍMICOS				-Pesquisadores por nível de qualificação por milhão de habitantes por país por etapa do ciclo de vida no último ano.	Unidade		
					-Pesquisadores por ocupação por milhão de habitantes por país por etapa do ciclo de vida no último ano.	Unidade		
					-Quantidade de produtos químicos utilizados por etapa do ciclo de vida no último ano.	kg		
					-Proporção de resíduos tratados por etapa do ciclo de vida no último ano.	%		

Quadro 02: Indicadores de Sustentabilidade para LIB (Eixo - Gestão para a Sustentabilidade)

#### 4.4. A reciclagem de LIBs aliada aos ODS

Os processos de reciclagem de LIBs, em geral, prevêm a recuperação da maioria dos materiais metálicos valiosos contidos nos resíduos. Apesar dos desafios operacionais (por exemplo, separação de materiais, maior purificação do óxido obtido, uso excessivo de reagentes) o processo apresenta benefícios nos âmbitos ambiental, social e econômico. Do ponto de vista ambiental, a reciclagem impacta diretamente o ODS 13 (ação contra a mudança global do clima), dada sua contribuição na redução de emissões que aquecem o planeta. Reduz a quantidade de recursos extraídos da natureza e contribui com a conservação desses para as gerações futuras. Ademais, o processo de reciclagem pode reduzir a quantidade de materiais depositada nos aterros sanitários a partir do reaproveitamento dos diversos componentes presentes nas LIBs, o que diminuiria a exposição do solo e dos lençóis freáticos às baterias descartadas. O ODS 5 (Água potável e Saneamento) é fortemente impactado, assim, como os ODS 14 (Vida na Água) e 15 (Vida Terrestre), por exemplo. A preservação desses recursos mobiliza, por exemplo, o ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) que impactará outros ODS, como o 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico) e 10 (Redução das Desigualdades).

A reciclagem de LIB tem o potencial de impactar o ODS 1 (Erradicação da Pobreza) gerando trabalho e renda. Cooperativas de reciclagem, autônomas que trabalham na coleta e operadores ligados à reciclagem são beneficiados. O ODS 1, uma vez impactado, outros ODS, consequentemente, serão igualmente atingidos, como 2 (Fome Zero e Agricultura Sustentável), 3 (Saúde em Bem-estar), 4 (Educação de Qualidade) e 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), por exemplo. Enfim, uma vez impactado, um único ODS é capaz de afetar muitos outros.

Os países produtores de minerais metálicos devem investir significativamente em processos de reciclagem como forma de reduzir os impactos sobre a saúde e bem-estar humano (ODS 3),

Crescimento Econômico (ODS 8) e Redução das Desigualdades (ODS 10), entre outros. Alguns indicadores apontam uma piora nesses quadros (SANCHEZ-LOPEZ, 2019). A mineração, quando bem administrada, pode ser uma fonte de receita significativa para o desenvolvimento dos países, e quando arrecadadas e distribuídas com transparência, podem apoiar os investimentos nacionais na saúde, educação, infraestrutura e outros setores importantes para o crescimento e a prosperidade de um país (IISD, 2018), impactando vários outros ODS, como, 9, 10, 11, 12, 13 e 16, entre outros.

A reciclagem, contudo, não “neutraliza” os problemas enfrentados pela população local, bem como os danos ambientais causados no início do ciclo de vida das LIBs, mas contribui para mitigar tais questões. (Os dados da nossa pesquisa ainda não podem ser divulgados devido à compromissos de confidencialidade industrial). A reciclagem de LIB deve estar à frente de uma agenda de compromissos com a sustentabilidade, e deve priorizar:

1. Políticas públicas e regulações de incentivo à coleta, segregação e ao processo de reciclagem em todos os lugares (logística reversa).
2. O fomento aos Programas de P&D voltados à produção de baterias, de modo que a reciclagem possa ser facilitada (*design*).
3. Esforços técnicos, científicos e econômicos direcionados para novas pesquisas voltadas à diminuição da geração de resíduos no processo de reciclagem, à redução dos gastos com água e energia (HOU et al., 2020).
4. O estímulo ao consumo consciente, conforme a própria Agenda 2030 (ODS 13 - Consumo e Produção Responsáveis).

## Conclusões

O lítio é fundamental na transição para energia limpa, e as LIBs têm papel importante no cumprimento do ODS 7 que considera, até 2030, assegurar o acesso universal, confiável, moderno e a preços acessíveis aos serviços de energia.

A demanda por baterias será cada vez maior, provocando impactos sociais, ambientais e econômico às pessoas e meio ambiente. A reciclagem de LIBs é fundamental para dar suporte à evolução tecnológica, e o progresso tecnológico tem o compromisso de converter os conhecimentos gerados em melhorias para a sociedade. A reciclagem é, portanto, o processo que garantirá sustentabilidade às LIBs, e, por essa razão, deve estar no centro de uma agenda de compromissos futuros, focada de forma equilibrada nos aspectos sociais, ambientais e econômicos.

A Avaliação do Ciclo de Vida adicionou inventários e indicadores econômicos e sociais à estrutura ambiental no contexto das baterias íon-lítio. Uma análise quantitativa a partir dos ODS está sendo desenvolvida.

Um ODS, individualmente, não é capaz de proporcionar uma análise da sustentabilidade. No caso da reciclagem da LIB, somente a combinação de ODS tornou possível discorrer sobre sua sustentabilidade.

## Referências

AGUSDINATA, D. B., LIU, W., EAKIN, L. ROMERO, H. *Socio-environmental impacts of lithium mineral extraction: towards a research agenda*. Environmental Research Letter, 13, (12), 27 nov. 2018. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aae9b1>

BAARS, J.; DOMENECH, T.; BLEISCHWITZ, R.; MELIN, H. E.; HEIDRICH, O. *Circular economy strategies for electric vehicle batteries reduce reliance on raw materials*. *Nature Sustainability*. 4, (1), 71-79. January 2021. <https://www.nature.com/articles/s41893-020-00607-0>

**CHRISTENSEN P. A.; ANDERSON, P. A.; GAVIN D. J. HARPER, G.; LAMBERT, S. M.; MROZIK, W., RAJAEIFAR, M. A., WISE, M. S., HEIDRICH, O.** *Risk management over the life cycle of lithium-ion batteries in electric vehicles.* June 2021. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 148 (11):111240. 2021. [https://www.researchgate.net/publication/352374401\\_Risk\\_management\\_over\\_the\\_life\\_cycle\\_of\\_lithium-ion\\_batteries\\_in\\_electric\\_vehicles](https://www.researchgate.net/publication/352374401_Risk_management_over_the_life_cycle_of_lithium-ion_batteries_in_electric_vehicles)

**COSTA, C. M., BARBOSA, J. C., GONÇALVES, R., CASTRO, H., DEL CAMPO, F. J., LANCEROS-MÉNDEZ, S.** *Recycling and environmental issues of lithium-ion batteries: Advances, challenges and opportunities.* *Energy Storage Materials*, 37, May 2021. 433-465. 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ensm.2021.02.032>

**GRAHAM, J. D. RUPP, J.A. BRUNGARD, E.** *Lithium in the Green Energy Transition: The Quest for Both Sustainability and Security*. *Sustainability*. 13 (20), 11274. 2021. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/20/11274>

**HABIB, K.; HANSDÓTTIR, S. T.; HABIB, H.** *Critical metals for electromobility: Global demand scenarios for passenger vehicles, 2015-2050.* *Resources, Conservation and Recycling*. 154, March 2020, 104603. 2020. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344919305099>

**HEREDIA, F; MARTINEZ, A. L; URTUBEY, V. S.** *The importance of lithium for achieving a low-carbon future: overview of the lithium extraction in the 'Lithium Triangle'.* *Journal of Energy & Natural Resources Law*. 38 (3), p. 213-236, 2000. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02646811.2020.1784565>

**IISD ANNUAL REPORT 2017-2018.** *The Power of Together.* 2018. <https://www.iisd.org/system/files/publications/iisd-annual-report-2017-2018-singles.pdf>

**LIU, C., LIN, J., CAO, H., ZHANG, Y., SUN, Z.** *Recycling of spent lithium-ion batteries in view of lithium recovery: A critical review.* *Journal of Cleaner Production*, 228, 10 August 2019, 801-813. 2019. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619314015>

**OLIVETTI, E. A.; CEDER, G.; GAUSTAD, G. G.; FU, X.** *Lithium-Ion Battery Supply Chain Considerations: Analysis of Potential Bottlenecks in Critical Metals.* *Joule*. Volume 1, (2), 11 October 2017, 229-243. 2017. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2542435117300442>

**RAJAEIFAR, M. A.; RAUGEI, M.; SEUBING, B.; HARTWELL, A., PAUL A. ANDERSON, P. A.; HEIDRICH, O.** *Life cycle assessment of lithium-ion battery recycling using pyrometallurgical Technologies.* *Journal of Industrial Ecology*. 25 (6) (2021), December 2021. p. 1560-1571. 2021. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jiec.13157>

**SANCHEZ-LOPEZ, M. D.** *From a White Desert to the Largest World Deposit of Lithium: Symbolic Meanings and Materialities of the Uyuni Salt Flat in Bolivia.* *Antipode*. 51 (4) p. 1318-1339, 2019. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/anti.12539>

**SHOLICHAH, A. I; HISJAM, M; SUTOPO, W.** *The Selection of Lithium Battery raw Materials by Environmental, Economic, and Social Sustainable.* *IOP Conference Series-Materials Science and Engineering*. 943. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/943/1/012047/meta>

**TABELIN, C. B.; DALLAS, J.; CASANOVA, S.; PELECH, T.; BOURNIVAL, G.; SAYDAN, S.; CANBULAT, I.** *Towards a low-carbon society: A review of lithium resource availability, challenges and innovations in mining, extraction and recycling, and future perspectives.* March 2021. *Minerals Engineering*. 163 (15):106743. 2021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S089268752030563X>

**UNEP:** *LCA-based Assessment of the Sustainable Development Goals. Development update and preliminary findings of the project "Linking the UN Sustainable Development Goals to Life Cycle Impact Frameworks".* UNEP, 2020. [file:///C:/Users/mfranzone/Downloads/UNEP\\_LCA-based-assessment-of-the-SDGs-Dec-2020%20\(9\).pdf](file:///C:/Users/mfranzone/Downloads/UNEP_LCA-based-assessment-of-the-SDGs-Dec-2020%20(9).pdf).

**UNITED NATIONS,** 2015. *Sustainable Development.* <https://sdgs.un.org/goals>

**ZIEGLER, M. S; TRANCIK, J. E.** *Re-examining rates of lithium-ion battery technology improvement and cost decline.* 2021. *Energy & Environmental Science*. 4, 2021. <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/ee/d0ee02681f>

