

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARIANA GOMES LUPPI

PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR PARA BATERIAS DE LÍTIO EM  
VEÍCULOS ELÉTRICOS: REVISÃO DE LITERATURA

JANDAIA DO SUL

2024

MARIANA GOMES LUPPI

PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR PARA BATERIAS DE LÍTIO EM  
VEÍCULOS ELÉTRICOS: REVISÃO DE LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para qualificação a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón-Canchumani

JANDAIA DO SUL

2024

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA JANDAIA DO SUL

Luppi, Mariana Gomes

Proposta de economia circular para baterias de lítio em veículos elétricos: revisão de literatura. / Mariana Gomes Luppi. – Jandaia do Sul, 2024.

1 recurso on-line : PDF.

Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Paraná, Campus Jandaia do Sul, Graduação em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani.

1. Sustentabilidade. 2. Reciclagem. 3. Desenvolvimento. 4. Modelo. 5. Gestão de recursos. I. Canchumani, Giancarlo Alfonso Lovón. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD 658.4

Bibliotecário: César A. Galvão F. Conde - CRB-9/1747



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**PARECER Nº** 130/2025/UFPR/R/JA/CCEP  
**PROCESSO Nº** 23075.079917/2019-87  
**INTERESSADO:** @INTERESSADOS\_VIRGULA\_ESPACO@

### TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** PROPOSTA DE ECONOMIA CIRCULAR PARA BATERIAS DE LÍCIO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS: REVISÃO DE LITERATURA

**Autor(a):** MARIANA GOMES LUPPI

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI (Orientador)

RAIMUNDO ALBERTO TOSTES

THAMIRES MARTINHO PRADOS



Documento assinado eletronicamente por **GIANCARLO ALFONSO LOVON CANCHUMANI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/01/2025, às 15:30, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **THAMIRES MARTINHO PRADOS, Usuário Externo**, em 17/01/2025, às 17:19, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **RAIMUNDO ALBERTO TOSTES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/02/2025, às 10:33, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **7430235** e o código CRC **1298E41C**.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas que contribuíram para a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Agradeço primeiramente ao meu orientador Giancarlo Alfonso Lovón-Canchumani pelo constante apoio, orientação e paciência ao longo de todo o processo. Sua experiência e dedicação foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também aos professores e colegas de curso, cujas trocas de conhecimentos e contribuições enriqueceram minha trajetória acadêmica.

Sou grata à minha família, pelo amor, compreensão e apoio incondicional durante todo o meu percurso acadêmico. As palavras de incentivo e confiança sempre foram uma fonte de motivação.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, ajudaram na concretização deste trabalho. Este trabalho é fruto de um esforço e de um aprendizado contínuo, e a cada um de vocês, minha sincera gratidão.

## RESUMO

A produção e consumo de diversos produtos acontecem de maneira linear, onde as matérias primas que são transformadas em produtos acabados são utilizadas e posteriormente descartadas de forma incorreta. Este modelo de economia linear tem sido um ponto de ênfase há alguns anos, uma vez que proporciona ao consumidor produtos com valores mais acessíveis, contudo este sistema não considera que os recursos são limitados. Desta forma, como alternativa para esses fatores, foi criado o modelo circular de produção que apresenta ser a solução propícia para o desenvolvimento sustentável, pois permite a ampliação da gestão de recursos e visa a minimização da extração de matérias primas e a geração de desperdício. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo propor um modelo de economia circular para a produção de veículos elétricos especificamente a fase das baterias de lítio, buscando mapear na literatura os modelos de aplicação que envolvem a economia circular, adotando como metodologia uma revisão de literatura nos últimos anos. Através da revisão de literatura, foram identificados dez estudos que abordam o tema de economia circular para baterias de lítio como estratégia de desenvolvimento sustentável. A abordagem mais utilizada pelas publicações foi a revisão de literatura, com 50% dos estudos. Dentre esses trabalhos, três foram selecionados para um maior detalhamento, baseando-se em ferramentas de gestão ambiental como suporte para suas análises. Sendo assim, o resultado da revisão contribuiu significativamente para a literatura sobre economia circular para baterias de lítio em veículos elétricos.

Palavras-chave: Sustentabilidade. Reciclagem. Desenvolvimento. Modelo. Gestão de Recursos.

## **ABSTRACT**

The production and consumption of various products occur in a linear manner, where raw materials transformed into finished products are used and later improperly discarded. This linear economy model has been a point of emphasis for several years, as it offers consumers more affordable products. However, this system fails to consider that resources are finite. As an alternative to these limitations, the circular production model was developed, presenting itself as a viable solution for sustainable development. This model enhances resource management and aims to minimize raw material extraction and waste generation. In this context, the present study aims to propose a circular economy model for the production of electric vehicles, focusing specifically on the battery phase. The objective is to map the application models involving the circular economy in the literature by adopting a methodology based on a literature review from recent years. Through the review, ten studies addressing the topic of the circular economy for lithium-ion batteries as a sustainable development strategy were identified. The most commonly used approach in these publications was literature review, accounting for 50% of the studies. Among these works, three were selected for detailed analysis, based on environmental management tools as support for their evaluations. Thus, the results of the review contributed significantly to the literature on circular economy for lithium batteries in electric vehicles.

**Keywords:** Sustainability. Recycling. Development. Model. Resource Management.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FIGURA 1 – ESTRUTURA DE CAPÍTULOS.....                                                          | 17 |
| FIGURA 2 – SISTEMA DE PROPULSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.....                                      | 20 |
| FIGURA 3 – DIAGRAMA DO SISTEMA DA ECONOMIA CIRCULAR.....                                        | 26 |
| FIGURA 4 – ABORDAGENS PARA POTENCIAR A ECONOMIA CIRCULAR.....                                   | 27 |
| FIGURA 5 – MODELO ECONOMIA CIRCULAR.....                                                        | 29 |
| FIGURA 6 – DIAGRAMA DO PROCESSO PIROMETALÚRGICO.....                                            | 33 |
| FIGURA 7 – PROCESSO DE RECUPERAÇÃO POR HIDROMETALURGIA.....                                     | 33 |
| FIGURA 8 – GRÁFICO COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS DE UM AUTOMÓVEL.....                                 | 36 |
| FIGURA 9 – DIMENSIONAMENTO DA PESQUISA.....                                                     | 41 |
| FIGURA 10 – RESULTADO DA BUSCA NAS BASES DE DADOS.....                                          | 43 |
| FIGURA 11 – FASES DA PESQUISA.....                                                              | 44 |
| FIGURA 12 – MODELO APRESENTADO AS FASES DA FERRAMENTA START..                                   | 45 |
| FIGURA 13 – GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES.....                                            | 48 |
| FIGURA 14 – PALAVRAS-CHAVE MAIS USADAS.....                                                     | 49 |
| FIGURA 15 – CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS QUANTO AO MÉTODO DE<br>PESQUISA.....                      | 50 |
| FIGURA 16 – REPRESENTAÇÃO DO MODELO DE PLANEJAMENTO E<br>DISTRIBUIÇÃO CIRCULAR DE RECURSOS..... | 53 |
| FIGURA 17 – RESULTADO DA BUSCA NAS BASES DE DADOS.....                                          | 42 |



## LISTA DE QUADROS

|                                                                                                       |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| QUADRO 1 – ETAPAS DE PRODUÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO.....                                              | 31 |
| QUADRO 2 – ARTIGOS RESULTANTES DA REVISÃO DE LITERATURA.....                                          | 47 |
| QUADRO 3 – PERIÓDICO DAS PUBLICAÇÕES.....                                                             | 48 |
| QUADRO 4 – FATOR DE IMPACTO DOS PERIÓDICOS.....                                                       | 49 |
| QUADRO 5 – CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS.....                                                           | 51 |
| QUADRO 6 – ESTRATÉGIAS CIRCULARES.....                                                                | 55 |
| QUADRO 7 – IMPORTÂNCIA DAS BARREIRAS PARA MODELOS DE NEGÓCIOS<br>CIRCULARES DE BATERIAS DE LÍTIO..... | 56 |
| QUADRO 8 – PARTES INTERESSADAS NA GESTÃO DO FIM DA VIDA ÚTIL DAS<br>BATERIAS DE LÍTIO.....            | 57 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS**

AFM – Análise de Fluxo de Materiais

AICV – Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

BEVs – Battery Electric Vehicle

CRPD – Modelo de Planejamento e Descrição Circular de Recursos

DfX – Projeto para X

E-VER – Extended Range Electric Vehicle

GEE – Gases do Efeito Estufa

HEV – Hibrid Electric Vehicle

ICV – Inventário de Ciclo de Vida

Li – Lítio

MCDM – Metodologia de Decisão Multicritério

MFA – Análise de Fluxo de Material

NiMH - Hidreto Metálico de Níquel

Nox – Óxido Nítrico

ODS – Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

OMS – Organização Mundial de Saúde

ONG – Organização Não Governamental

PEV – Plug-in Electric Vehicles

PHEV - Plug-in Hybrid Electric Vehicle

PM – Promércio

SDZs – Zonas de Destino Estratégico

SED – Simulação de Eventos Discretos

SLA – Baterias de Chumbo

SO<sub>2</sub> – Dióxido de Enxofre

TCCR – Projeto de Reciclagem Carro para Carro Toyota

VCI – Veículo de Combate de Infantaria

## SUMÁRIO

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO</b>                                                 | <b>12</b> |
| 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO                                                | 12        |
| 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA                                            | 14        |
| 1.3 JUSTIFICATIVA                                                   | 15        |
| 1.4 OBJETIVOS                                                       | 16        |
| 1.4.1 Objetivo geral                                                | 16        |
| 1.4.2 Objetivos específicos                                         | 16        |
| 1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO                                        | 17        |
| <b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>                                      | <b>18</b> |
| 2.1 CADEIA PRODUTIVA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS                          | 18        |
| 2.1.1 Atores da Produção de Veículos Elétricos                      | 18        |
| 2.1.2 Fluxos de Processos da Produção de Veículos Elétricos         | 20        |
| 2.1.3 Gestão de Operações do Setor Automobilístico                  | 21        |
| 2.1.4 Impactos Ambientais da Produção de Veículos                   | 22        |
| 2.2 ECONOMIA CIRCULAR                                               | 24        |
| 2.2.1 Fundamentos                                                   | 24        |
| 2.2.2 Indicadores                                                   | 26        |
| 2.2.3 Métodos e Estratégias                                         | 28        |
| 2.2.4 Aplicação da Economia Circular                                | 29        |
| 2.3 PRODUÇÃO DE BATERIAS DE LÍTIO                                   | 30        |
| 2.3.1 Processo de Produção das Baterias                             | 30        |
| 2.3.2 Reciclagem das Baterias                                       | 32        |
| 2.3.3 Legislação das Baterias de Lítio                              | 34        |
| 2.4 ESTUDOS APLICADOS DE ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR AUTOMOBILÍSTICO | 35        |
| 2.4.1 Modelos de Economia Circular                                  | 35        |
| 2.4.2 Diretrizes de Economia Circular                               | 37        |
| 2.4.3 Ferramentas Utilizadas Para o Modelo de Economia Circular     | 38        |
| 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO                            | 39        |
| <b>3 MÉTODOS DE PESQUISA</b>                                        | <b>41</b> |
| 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA                                       | 41        |
| 3.2 PROCEDIMENTOS PARA REVISÃO DE LITERATURA                        | 42        |

|                                                                                                        |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.3 PROTOCOLO DA PESQUISA .....                                                                        | 43        |
| 3.3.1 Planejamento da pesquisa.....                                                                    | 43        |
| 3.3.2 Coleta, tabulação e análise dos dados .....                                                      | 45        |
| <b>4 ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>                                                                   | <b>46</b> |
| 4.1 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE ECONOMIA CIRCULAR PARA<br>BATERIAS DE LÍTIO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS..... | 47        |
| 4.1.1 Análise quantitativa sobre os estudos.....                                                       | 47        |
| 4.1.2 Análise do conteúdo das pesquisas.....                                                           | 50        |
| 4.1.2.1 Moore <i>et al.</i> (2020).....                                                                | 51        |
| 4.1.2.2 Lähdesmäki <i>et al.</i> (2023).....                                                           | 53        |
| 4.1.2.3 Wralsen <i>et al.</i> (2021).....                                                              | 56        |
| 4.1.2.4 Análise geral dos estudos.....                                                                 | 57        |
| <b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>                                                                    | <b>59</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                | <b>60</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A sociedade contemporânea depara com diversos riscos ecológicos, motivados pelos impactos negativos dos seres humanos sobre o meio ambiente, onde vem se revelando cada vez mais enigmático, seja em modos qualitativos ou quantitativos (Santos; Jesus, 2023).

Os impactos da degradação dos recursos naturais são inúmeros e atingem as espécies presentes no ecossistema, podendo gerar a contaminação da água, do solo, violações contra a fauna e poluição do ar. (Aguilar *et al.*, 2019).

As ações das atividades irresponsáveis praticadas pelos seres humanos apontam a problemática dos impactos ambientais e como elas transformam o clima do planeta, especialmente devido a queima de combustíveis fósseis e liberação dos gases de efeito estufa (GEE) (Leite *et al.*, 2020).

Do mesmo modo, as mudanças climáticas estão aumentando a temperatura global, com eventos climáticos extremos como as ondas de calor, aumento do nível do mar, longos períodos de seca, de chuvas intensas e nevascas que espalham doenças propagadas por vetores, através do contato entre animais, alimentos e das águas (Ramadani *et al.*, 2023).

A organização mundial de saúde (OMS) afirma que as mudanças climáticas é uma grande ameaça à saúde, estima que entre 2030 e 2050, serão responsáveis por cerca de 250 mil mortes por ano, visto que prejudicam a segurança alimentar, ampliando as transições de doenças e afetando a saúde física e mental das pessoas (Opas, 2019).

Em vista disso, para alcançar uma sustentabilidade são necessárias alterações significantes nos modos de produção e consumo, de maneira que seja indispensável a elaboração de mecanismos que conduzam à transformação de uma economia ineficiente em recursos para uma economia na qual o consumo seja fundamentado, isto é, de uma economia linear para uma economia circular (Zanirato; Rotondaro, 2016).

De acordo com Murray *et al.* (2017), uma economia linear é estabelecida como a modificação de recursos naturais em resíduos através da produção, o que gera a degradação ambiental por meio da retirada do capital natural e a limitação do capital natural causada pela poluição de descartes de resíduos.

Para Sauv  *et al.* (2016), a economia circular busca aprimorar o uso de recursos virgens, minimizar a polui o e o desperdício no processo produtivo. Já para Pomponi; Moncaster (2017), a principal inova o do conceito de economia circular corresponde em desagregar o enfraquecimento e o crescimento do consumo de recursos, possibilitando que tenha desenvolvimento econômico e maior rentabilidade, sem que detenha uma influência crescente sobre o ecossistema.

Sendo assim, a economia circular apresenta ser uma soluço para o desenvolvimento sustentável, possibilitando um aumento da eficiência da gestão de recursos e a redu o da extra o de matérias primas. Nesta perspectiva, o setor automobilístico   um dos principais responsáveis pelas emissões de GEE, sendo importante e necessário uma mudança na sua cadeia de valor (Ohtsuka, 2022).

Um meio para a redu o das emissões de GEE   a utiliza o de veículos elétricos, que podem auxiliar no desempenho das metas estabelecidas pelas Na o  Unidas, mais conhecida como objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS), contando com dezessete objetivos que abrangem três dimensões do desenvolvimento sustentável, como social, ambiental e econômico (Ipea, 2019).

Neste contexto,   importante ressaltar a crescente demanda por veículos elétricos onde conseqüentemente a quantidade de baterias de lítio também aumentaram. Esse crescimento gera uma preocupa o com a disponibilidade de lítio, uma vez que   difícil avaliar as necessidades futuras, como a quantidade de lítio que uma bateria precisa, a taxa de reciclagem das baterias e a propor o de veículos elétricos no futuro. Apesar disso,   acordante que há necessidade de ampliar a tecnologia dos métodos de reciclagem de maneira a ser capaz de responder as demandas futuras (Colaço, 2022).

Desta forma, o presente trabalho irá abordar a importância da implementa o de uma economia circular para baterias de lítio em veículos elétricos para melhorar a gestão de recursos utilizados, por meio da redu o, reutiliza o e reciclagem, conseqüentemente colaborando para minimizar as altera o  climáticas, convertendo a economia atual em uma economia limpa e tornando esta mudança justa para todos com um olhar mais centrado no planeta (Santos; Jesus, 2023).

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Tendo em vista o crescimento de veículos híbridos ou elétricos ao redor do mundo e a disposição que estes podem sofrer nos próximos anos, formado especialmente por regulamentações governamentais, aplicações de montadoras e efeitos ao meio ambiente, busca-se o desenvolvimento de baterias de lítio que apresentem características cada vez mais eficazes (Bombe, 2021).

Atualmente encontra-se disponíveis no mercado variados modelos de baterias para os veículos elétricos, tendo ênfase as baterias de hidreto metálico de níquel (NiMH), baterias de chumbo (SLA), lítio (Li) e supercondensador. No entanto, as baterias de lítio possuem preferência uma vez que elas apresentam uma alta densidade de energia, maior resistência a falha de carregamento, baixa sensibilidade à variação de temperatura e exibem maior relevância entre potência e peso de carregamento (Colaço, 2022).

Para a fabricação dos componentes das baterias e para a montagem de veículos elétricos é necessário a utilização de energia em grande escala, o que gera fontes de poluição no ar, emitindo dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxido nítrico (Nox) e liberação de promécio (PM), na qual são os responsáveis pela acidificação do solo, prejudicando a propriedade do ar atmosférico e causando impactos na saúde humana (Ohtsuka, 2022).

De acordo com um estudo feito por Nordelof (2014), fundamentando-se no mix energético europeu, as emissões causadas por um veículo elétrico médio podem variar entre 60 a 76 gramas de gás carbônico por quilômetro, o que representa cerca de 68% a 75% abaixo das emissões de um veículo de combate de infantaria (VCI) por exemplo, onde apresentam cerca de 240 gramas de gás carbônico por quilômetro.

Diante disso, o parlamento Europeu estabeleceu a diretiva 2000/53/CE relacionada aos veículos em fim de vida, onde os fabricantes dos mesmos são responsáveis pelos relativos componentes após sua funcionalidade, tendo o compromisso de devolução dos produtos para fins de reciclagem e reutilização, ou possibilitando a delegação a entidades terceiras (Apa, 2021).

Desta maneira, foi desenvolvido a diretiva 2006/66/CE na qual busca amenizar os impactos causados pelas baterias ao meio ambiente, definindo as exigências sobre como as variadas baterias precisam ser recicladas, atribuindo o

compromisso de recuperar e reciclar aos responsáveis por colocá-las no mercado. Um ponto de grande importância desta diretiva é que ela não possibilita a reciclagem dos metais, isso gera uma preocupação econômica no processo de reutilização das baterias, uma vez que o valor das mesmas é conduzido pelo preço do níquel e do cobalto e os processos de reciclagem possuem enfoque na recuperação desses metais (Colaço, 2022).

Diante a essas situações, serão desenvolvidos nesta pesquisa o processo de análise da economia circular das baterias de lítio utilizadas nos veículos elétricos, uma vez que o crescimento no mercado dessas baterias pode trazer riscos ambientais e sociais, onde estão ligados aos processos de extração, produção e descarte das mesmas. Assim fica evidente a importância do processo de reciclagem, pois apresentam a competência de reduzir a falta de matérias primas e mitigar os impactos ambientais causados pelas emissões de GEE.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

Recursos limitados, capacidade restrita de absorção da poluição causada por negócios lineares e a operação de agentes da sociedade e governo, exigem as empresas pela procura de modelos produtivos mais sustentáveis (Leitão, 2015).

De acordo com Porter (1986), uma empresa é uma cadeia de valor na qual é entendida como uma ordem de processos inter-relacionados, deste modo para compreender os processos, é preciso o entendimento das relações. Alega ainda que a cadeia de valor separa a empresa nas atividades significativas para projetar, produzir, comercializar, entregar e sustentar o produto, sendo o ponto de partida para uma gestão mais estratégica, visto que sua análise mostra as associações das cadeias que mais agregam valor.

Segundo Benyus (2002), é preciso dar mais importância para as formas que a natureza reage com seus problemas. A partir disso, pode-se adotar modelos similares aos processos naturais, o que pode ser decisivo no crescimento da vida humana. Um termo que diz respeito a esta condição é a biomimética, usada para solucionar problemas humanos de maneira sustentável.

Na mesma perspectiva, Azevedo (2015) revela que o conceito está associado a visão de que a natureza é inovadora, ou seja, quando surge um novo problema há uma maneira de resolvê-lo.



De acordo com Ellen MacArthur Foundation (2012), é normal pensar que o modelo circular surge no período de descarte do produto, porém o processo inicia-se antes da sua criação. Pela razão de não apresentar resíduos ao final da produção, materiais que podem ser reciclados são descartados antes do processo se iniciar, dando abertura para materiais biológicos não tóxicos na qual podem ser recolocados na natureza sem provocar danos ao ambiente.

Em vista disso, produtos como as baterias de lítio apresentam alguns desafios, pois para sua reutilização são necessários processos mais sofisticados, sendo essencial a busca por meios cada vez mais eficientes de usufruir materiais consumindo pouca energia. Desta maneira, a análise a ser desenvolvida visa prover soluções inovadoras dos conceitos de economia circular das baterias de lítio, revelando um modelo alternativo para redirecionar o crescimento com enfoque nos benefícios para a sociedade (Filho *et al.*, 2021).

O estudo também aborda as ODS 2030, particularmente com os objetivos e metas para alcançar o desenvolvimento sustentável, evidenciando a importância do objetivo 7 que retrata a energia limpa e acessível, o objetivo 12 abordando o consumo e produção responsáveis e o objetivo 13 que refere a ação contra a mudança global do clima (Ipea, 2019).

## 1.4 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos desta pesquisa.

### 1.4.1 Objetivo geral

Propor um modelo de economia circular para a produção de veículos elétricos especificamente a fase das baterias de lítio.

### 1.4.2 Objetivos específicos

Esta pesquisa apresenta os seguintes objetivos específicos:

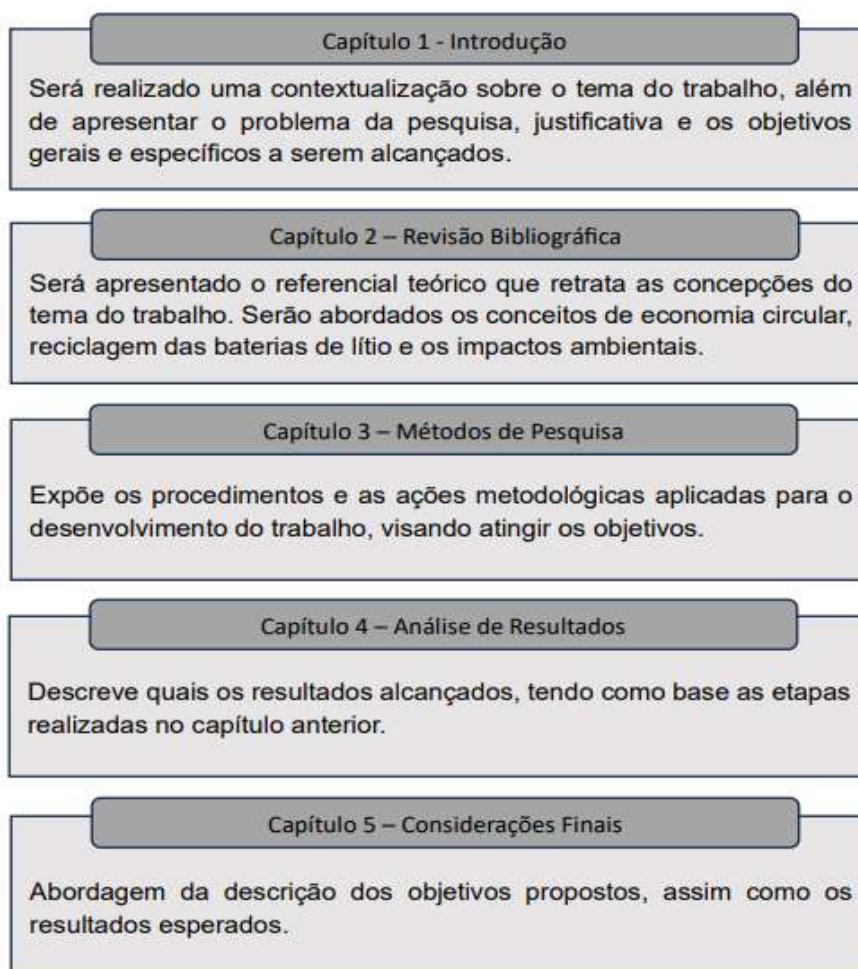
- a) Identificar os princípios de economia circular na produção de veículos elétricos;
- b) Identificar os principais métodos de reciclagem e reutilização das baterias de lítio;

- c) Realizar uma análise sobre o contexto ambiental na reciclagem de baterias de lítio;
- d) Estabelecer diretrizes de economia circular para o processo de reciclagem das baterias de lítio para veículos elétricos.

## 1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos, sendo a Introdução, Revisão Bibliográfica, Método de Pesquisa, Análise de Resultados e Considerações Finais, conforme mostra a Figura 1.

FIGURA 1 – ESTRUTURA DE CAPÍTULOS



FONTE: Autor (2024).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo visa apresentar as concepções essenciais para o entendimento da realização desse estudo, observando os principais pontos da revisão bibliográfica na qual é formada por quatro subcapítulos, que aborda os principais temas como impactos ambientais da produção de veículos elétricos, economia circular para as baterias de lítio, ferramentas utilizadas para a produção de baterias de lítio e os métodos e estratégias que serão utilizadas para mitigar o impactos ambientais causados pelas mesmas.

### 2.1 CADEIA PRODUTIVA DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Neste ponto será apresentado como ocorre o processo de produção de veículos elétricos, assim como o fluxo de processos, a gestão de operações do setor automobilístico e os impactos ambientais causados pelo mesmo seguimento.

#### 2.1.1 Atores da Produção de Veículos Elétricos

A história dos veículos elétricos pode ser segmentada em quatro fases, tendo um diferencial entre elas devido a tecnologia utilizada e a inclusão na circunstância socioeconômica de cada época (Noce, 2009).

De acordo com Barreto (1986), a primeira fase é caracterizada pela construção da primeira carruagem elétrica em 1837 na Inglaterra, aproximadamente 40 anos antes da fabricação do primeiro automóvel com motor de combustão interna, o Patentmotorwagen, de Karl Benz, em 1886. O ápice da produção e comercialização de veículos elétricos ocorreu entre os anos de 1890 e 1910, estes eram escolhidos pela sociedade por não conter fumaça, barulho e riscos à integridade física na partida à manivela, o que é presente em veículos com motor a combustão interna.

A segunda fase ocorreu entre 1912 e 1973, após a descoberta de campos de petróleo e novas técnicas de destilação em regime contínuo, no qual todo o desenvolvimento tecnológico da indústria automobilística foi centralizado para os motores de combustão interna. Um marco do fim da primeira fase é o veículo Cadillac 1912, por agregar a partida elétrica ao invés da partida à manivela (Baran; Legey, 2011).

Segundo Husain (2003), no final da década de 1950 e início da década de 1960, nos Estados Unidos os anseios com o impacto da poluição resultaram a tomada de iniciativas, como o Henney Kilowatt criado em 1959, que era movido a baterias de chumbo-ácido.

A terceira fase aconteceu entre 1973 e 1996, onde com os impactos do petróleo de 1973 e 1979, retornaram a ponderar em uma maneira de trocar parte do petróleo da matriz energética usada pelo setor de transportes. Diversas experimentações foram realizadas e com isso alguns automóveis vieram a ser comercializados. Um momento que ficou marcado nesta época foi a produção do primeiro carro elétrico brasileiro o Itaipu em 1974, por Gurgel (1926-2009), com autonomia de 60 quilômetros (Azevedo, 2018).

De acordo com Baran e Legey:

A partir dos anos 90 o estímulo ao uso de veículos elétricos e híbridos foi só aumentando. Novas tecnologias começaram a surgir e os países começaram a incentivar o uso através de leis e de regalias. Em 1990, o estado da Califórnia implementou suas primeiras normas regulatórias de emissão zero. Em 1992, a Agenda 213 enfatizou a importância dos problemas causados pelo uso extensivo de energia fóssil, bem como a necessidade de redução do consumo de energia nos países desenvolvidos e de busca de uma possível transição para fontes renováveis de energia. Ainda no ano de 1992, a União Europeia definiu uma política de transportes por meio da expressão “uma estratégia para a mobilidade sustentável” (Baran; Legey, 2011).

Com o aumento dos níveis de poluição, das emissões de GEE e o aquecimento global sinalizados na Conferência Eco 92, no Rio de Janeiro, resultou na assinatura do protocolo Kyoto, em 1997, no Japão. Desta forma, os veículos elétricos projetados na quarta fase, deveriam contribuir para a redução dos níveis de poluição atmosférica e sonora. Um marco desta fase foi o lançamento do GM EV1, da General Motors, em 1996, onde apresentava novas tecnologias em baterias e sistemas de propulsão (Noce, 2009).

Segundo a Associação Nacional de Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2016), no Brasil em 2012, foram registrados 115 veículos elétricos, sendo que no ano de 2013 houve um crescimento de 389 veículos elétricos em comparação ao ano anterior.

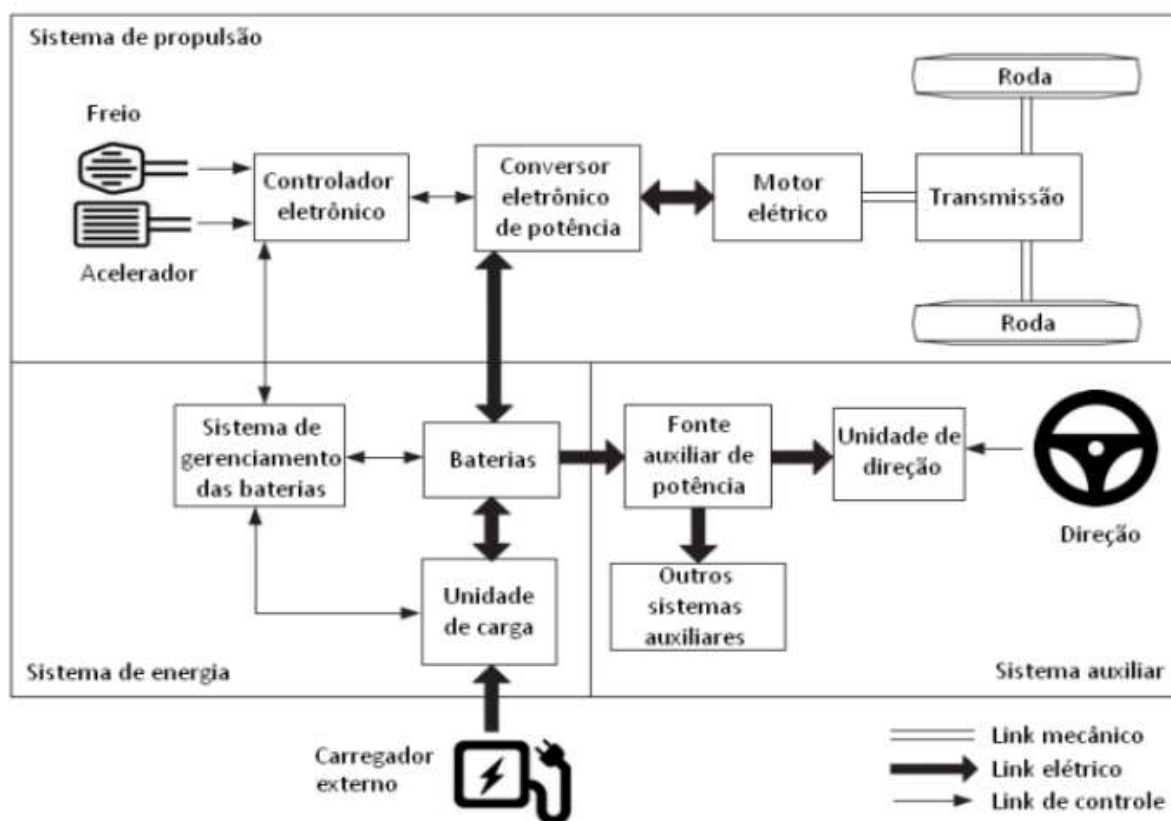
### 2.1.2 Fluxos de Processos da Produção de Veículos Elétricos

O funcionamento de um motor elétrico consiste em converter energia elétrica em energia mecânica para gerar movimento, estes são alimentados por meio de fontes de corrente contínua, como baterias, retificadores ou por fontes de corrente alternada como os inversores ou geradores (Hashemnia; Asaei, 2008).

A estrutura dos veículos elétricos à bateria é composta por três sistemas principais sendo, o sistema de propulsão, o sistema de energia e o sistema auxiliar. O sistema de propulsão do motor elétrico é formado pelo sistema de controle do veículo, pelo conversor eletrônico de potência, pelo próprio motor elétrico e pela transmissão. O sistema de energia é formado pelas baterias, pelo sistema de gerenciamento das baterias e pela unidade de carga. Já o sistema auxiliar é composto pelo sistema de aquecimento/refrigeração, pelas bombas eletrônicas e por outros equipamentos eletrônicos auxiliares (Pollet *et al.*, 2012; Ehsani *et al.*, 2018).

A Figura 2 mostra uma ilustração conceitual de um veículo elétrico a bateria e carregador.

FIGURA 2 – SISTEMA DE PROPULSÃO DE VEÍCULOS ELÉTRICOS



FONTE: Oliveira e Souza (2023).

Os veículos elétricos podem ser classificados em quatro tipos diferentes. O primeiro é denominado como veículos elétricos puros (BEVs - *battery electric vehicle*), sendo sua principal fonte de energia a eletricidade procedente de fontes externas como a rede elétrica. Neste tipo de veículo a eletricidade é armazenada em uma bateria interna, que estimula o motor elétrico propulsionando as rodas. São classificados como *plug-in electric vehicles* (PEV), aqueles que precisam estar ligados na tomada, uma vez que a eletricidade é fornecida por uma fonte externa (Oecksler *et al.*, 2019).

Os veículos elétricos que empregam motores elétricos e combustão interna são classificados como veículos híbridos, estes são divididos em série ou paralelo, de maneira que os primeiros usem apenas o motor elétrico para mover o veículo, como o motor à combustão interna atribuindo eletricidade ao motor elétrico e o segundo modelo utilizam ambos os motores para propulsão (Oliveira; Souza, 2023).

Os elétricos híbridos são do tipo híbrido puro (HEV - *hibrid electric vehicle*), híbrido *plug-in* (PHEV - *plug-in hybrid electric vehicle*) e híbrido de longo alcance (E-VER - *extended range electric vehicle*). O híbrido puro exibe motor principal que propulsiona o veículo e apresenta uma combustão interna, tendo o motor elétrico a função de aprimorar a eficiência do motor à combustão interna ao fornecer tração em baixa potência (FGV Energia, 2017).

O híbrido *plug-in* também possui motor à combustão interna, o diferencial está na capacidade de receber eletricidade diretamente de uma fonte externa. Como utilizam combustíveis tradicionais, este modelo garante uma maior autonomia. O híbrido de longo alcance é do tipo série tendo o motor elétrico como principal, na qual é alimentado por uma fonte elétrica externa, possuindo um motor à combustão interna concedendo energia a um gerador (Santos, 2022).

### 2.1.3 Gestão de Operações do Setor Automobilístico

De acordo com Filho (2011), uma série de estratégias e atividades envolvem a gestão de operações no setor automobilístico, para garantir a eficiência e a qualidade na fabricação, distribuição e manutenção dos veículos, podendo ser entendidas mediante a seguinte divisão:

- Gestão da cadeia de suprimentos: essencial para certificar o fornecimento contínuo de materiais necessários para a fabricação de veículos elétricos,

como as baterias de lítio e outros componentes, assim como minimizar os custos e impactos ao meio ambiente;

- Engenharia do produto: desenvolvimento do design dos veículos elétricos, buscando aperfeiçoar a eficiência energética, inclusão de inovações e tecnologias, segurança e vida útil dos mesmos;
- Produção e montagem: otimização dos processos de fabricação, para garantir qualidade, redução de custos e entrega dentro do período estabelecido. Nesta etapa é importante a adoção de práticas como o *lean manufacturing*, visando diminuir desperdícios e ampliar a competência;
- Gestão da qualidade: implementação de controles de qualidade em todas as etapas do processo de produção dos veículos, buscando a melhoria contínua e garantindo a segurança dos mesmos e consequentemente a confiança dos consumidores;
- Logística e distribuição: utilização de métodos de transporte sustentável para levar os veículos da fábrica até as concessionárias ou clientes finais como caminhões elétricos, otimização das rotas de entrega, reduzindo os custos e tempo de transporte;
- Serviço pós-venda e manutenção: prestação de serviços de manutenção aos proprietários adoção de programas de manutenção preventiva, garantia de acesso a peças de reposição e serviços de qualidade.

#### 2.1.4 Impactos Ambientais da Produção de Veículos.

É evidente que o Brasil seja um país com grande potencial no setor automobilístico. Segundo uma pesquisa realizada pelo cadernos (FGV Energia, 2017) em colaboração com a *Accenture Strategy* uma empresa de consultoria, o país apresenta a potencialidade de comercializar mais de 150 mil veículos por ano.

No setor energético, os transportes são os principais responsáveis pelas emissões de GEE. Em 2013, nos Estados Unidos, foram estimadas cerca de 58 mil mortes devido a poluição gerada pelo setor de transporte rodoviário. A expansão de veículos elétricos impacta também o setor elétrico, podendo ser pelo aumento do consumo de energia elétrica, redução de combustível fóssil, além de ser necessário que o sistema elétrico e a rede estejam preparados para atender a demanda associada de eletricidade (Sales, 2009).

Os veículos automotivos são os principais responsáveis pela degradação do meio ambiente, pois:

O processo de fabricação de automóveis envolve não somente matérias-primas como o aço, ferro, borracha, plásticos e alumínio, mas uma grande quantidade de substâncias que destroem a camada de ozônio, que causam o efeito estufa, ou que usam grande quantidade de energia (Ludd, 2005).

O aquecimento global é o problema que mais afeta a humanidade nos dias de hoje. O ser humano contribui para este fator por meio da emissão de dióxido de carbono e outros GEE, proveniente do uso de combustíveis como o petróleo e gás natural (Molion, 2008).

Os efeitos do aquecimento global são alarmantes, dado que as mudanças climáticas no planeta podem prejudicar a maior parte das atividades econômicas e afetar o ecossistema da terra. Os resultados oriundos do aquecimento são: fenômenos climáticos e meteorológicos, como chuvas, ondas de calor ou frio, tornados, furacões, perda da biodiversidade, aumento no nível dos mares, impactos ecológicos e econômicos (Azevedo, 2018).

Os veículos automotivos durante o século XX alcançaram um grande crescimento, ultrapassando de alguns milhares de unidades para vários milhões de unidades. Diante disso, vale lembrar que:

Juntamente com o crescimento das emissões antrópicas (decorrentes da ação humana) de GEE, o século XX assistiu a um explosivo crescimento da utilização de automóveis. (...) Em 2000, a taxa de motorização norte-americana era de 771 veículos por 1.000 habitantes, mais que um veículo por motorista habilitado, enquanto, no restante do mundo era de 89 veículos por 1.000 pessoas – a mesma dos EUA em 1920. Mas desde 1950 a taxa de crescimento da frota no restante do mundo é mais que o dobro da taxa americana. Se a mesma taxa de motorização norte-americana fosse aplicada, seriam 4,7 bilhões de veículos, praticamente todos queimando combustíveis fósseis (Ferreira, 2007).

O crescimento dos veículos elétricos podem favorecer com a redução da emissão de GEE, pela razão de emitir menos poluentes que um veículo a combustão. Em vista disso, deve-se conceber novas estratégias para a utilização de veículos elétricos, uma vez que os combustíveis fósseis possuem uma estimativa de crescimento de 35% ao ano, o que pode desenvolver uma crise em 2028 (FGV Energia, 2017).



Conforme a empresa de pesquisa energética (2020), a matriz elétrica brasileira possui agentes mais renováveis do que a matriz energética, assim veículos elétricos possuem uma excelente base de reabastecimento. Além disso, se houver autonomia e uma infraestrutura de recarga, há uma grande chance de crescimento.

Portanto, a indústria automobilística precisa desenvolver novas técnicas que ampliem a eficiência energética e visando a minimização dos impactos ambientais (Sales, 2009).

## 2.2 ECONOMIA CIRCULAR

Neste ponto serão apresentados alguns conceitos sobre a economia circular, desde os fundamentos até a sua aplicação, com o auxílio das definições identificadas na literatura.

### 2.2.1 Fundamentos

O conceito de economia circular está fundamentado nas teorias que afirmam que o sistema econômico promove o consumo excessivo dos recursos naturais (Rizos *et al.*, 2017).

Segundo Munhoz *et al.* (2021), a economia circular está ligada em três áreas, sendo o ambiente, a sociedade e a economia. O foco na efetividade dos modelos circulares, com a finalidade de minimizar a utilização e o desperdício de recursos naturais é um seguimento essencial da concepção de circularidade (McCarthy *et al.*, 2019).

A eficiência dos recursos naturais refere-se a uma força para a tomada de decisões, necessitando do envolvimento de organizações não governamentais (ONG), sindicatos, instituições de investigação e membros interessados que promovam um valor estendido e que colaborem com a conservação de recursos nos sistemas de produção (Comissão Europeia, 2014).

Conforme Ellen Macarthur Foundation (2009):

Na economia atual, nós retiramos materiais da Terra, fazemos produtos a partir deles e, no final, os descartamos como resíduos – o processo é linear. Em contraste, na economia circular, evitamos produzir resíduos desde o início (Ellen Macarthur Foundation, 2009).

De acordo com Berkum; Dengerink (2019), a economia circular é fundamentada na teoria do 3R, que consiste em reutilizar, reciclar e reduzir, em contraposição da economia linear que é embasada na teoria de pegar, produzir, consumir e descartar. O desenvolvimento da economia circular baseia-se em um sistema fechado, na qual visa aperfeiçoar a sustentabilidade e apresentam objetivos com a economia em progresso que possuem sistemas de produção circulares (Murray *et al.*, 2017).

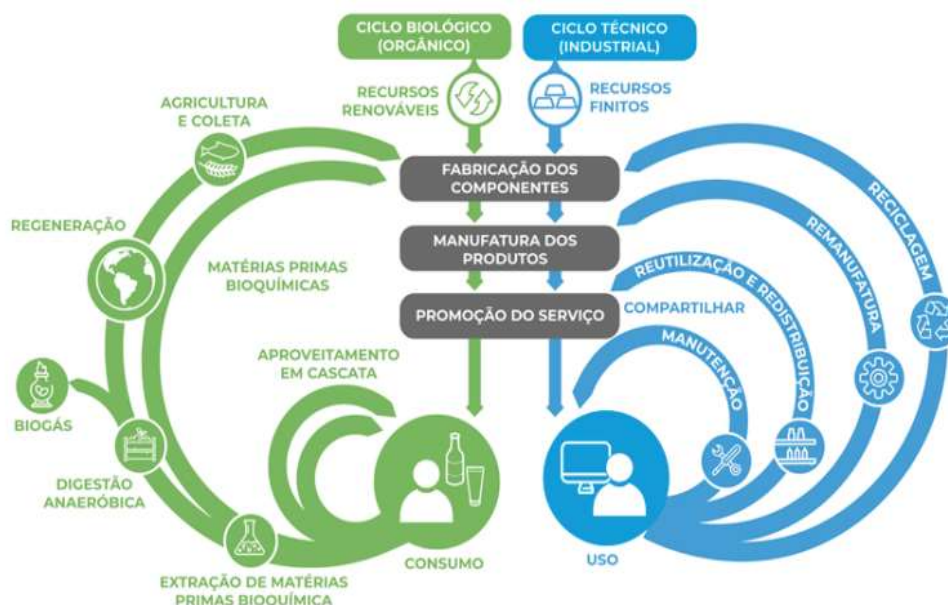
A economia circular engloba às inovações, visto que usam como insumos de um processo os resíduos de outro, entregando uma influência positiva no papel econômico e buscando a restauração dos resíduos (Riccaboni *et al.*, 2021). Esta mesma definição foi usada pela agência europeia do ambiente (Agência Europeia do Ambiente, 2014) que defini a economia circular a luz dos recursos naturais e seus fundamentos buscam a reciclagem, limitação e reutilização de fatores de produção, assim como a utilização de resíduos como mecanismo para a redução do consumo.

Neste sentido, Puchala (2017) expressa:

Precisamos reinventar a maneira como pensamos negócios. Evoluir de um modelo de pensamento linear para sistêmico é fundamental para inovarmos rumo a padrões de produção e consumo regenerativos. Só assim colocaremos os negócios a serviço da geração de impacto social, ambiental e econômico positivos para a sociedade (Puchala, 2017).

Segundo Ellen Macarthur Foundation (2015), a economia circular está fundamentada em três princípios, sendo o de eliminar os resíduos e poluição, a circularidade de produtos e materiais e recuperar a natureza. Também retrata que uma economia circular apresenta a finalidade de manter os produtos e materiais com um alto grau de competência, evidenciando a diferença entre ciclos de materiais técnicos e biológicos, conforme mostra a Figura 3.

FIGURA 3 – DIAGRAMA DO SISTEMA DA ECONOMIA CIRCULAR



FONTE: Ellen Macarthur (2019).

### 2.2.2 Indicadores

De acordo com Saidani *et al.*, (2019), aplicar os princípios de economia circular é importante para alcançar os objetivos de desenvolvimento sustentável, assim, para que isso aconteça, é essencial a implantação de novas ferramentas para auxiliar nas tomadas de decisões.

Segundo Geng *et al.*, (2012), os indicadores são de extrema importância para analisar e melhorar as grandezas da aplicação da economia circular, visto que oferecem boas ferramentas de medição de desempenho.

Os indicadores de economia circular podem ser analisados em micro, meso ou macro. Os de nível micro retratam ações de empresa, produto e consumidor. O nível meso é voltado a parques industriais e cadeia de suprimentos, descrevendo circuitos que englobam ações ao longo de uma cadeia de produção (Genovese *et al.*, 2017). E o nível macro, está voltado para uma esfera mais ampla da economia circular, voltada a formação de políticas (Mavi; Mavi 2019).

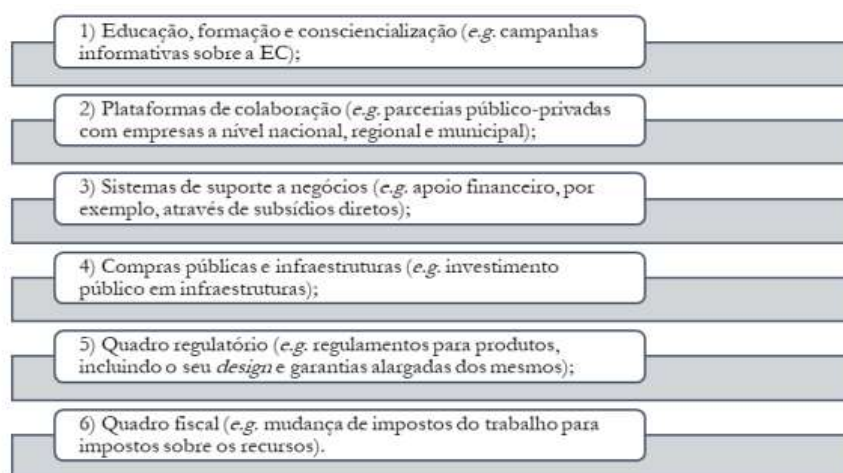
Em vista disso, para entender a relevância da concepção de indicadores, pode-se certificar que seu objetivo é de fornecer informações a respeito da condição de um sistema, de forma a terem uma base que auxiliam na tomada de decisão, para cumprir as metas estipuladas (Pintér, 2006).

Além disso, é essencial compreender as diferenças entre os indicadores diretos e indiretos de economia circular, considerando que os diretos possuem foco

na mensuração de materiais e produção de resíduos, priorizando a circulação de materiais. Por outra perspectiva, os indicadores indiretos têm ênfase em materiais, importante para o entendimento de áreas auxiliares da economia circular, mas que não possuem a obrigatoriedade de abranger a circularidade do sistema (Aguilar *et al.*, 2020).

Em seu relatório, Ellen Macarthur Foundation (2015) a proposta é estabelecer o nível de interesse e as áreas de enfoque, ofertando uma visão das oportunidades que a economia circular poderia motivar a uma ação. Também, fez menção a seis categorias de políticas que poderiam ser utilizadas pelos decisores políticos, de maneira a desenvolver a mudança de modelo econômico. Desta forma, há várias abordagens que podem ser adotadas, conforme apresentada na Figura 4.

FIGURA 4 – ABORDAGENS PARA POTENCIAR A ECONOMIA CIRCULAR



FONTE: Almeida (2020).

Sendo assim, duas publicações que foram realizadas pela fundação, são consideradas pertinentes neste contexto, sendo o *toolkit for policymakers* de 2015 que baseia-se em três passos, o de definir um ponto de partida e foco de mudança, analisar oportunidades de economia circular levando em consideração os setores chaves e avaliar as inferências e o *circulytics – measuring circularity* de 2020 que corresponde a única ferramenta com a capacidade de monitorizar a circularidade de uma empresa em sua totalidade e auxilia no processo de transição de uma empresa, analisando os fluxos de materiais, realizando uma medição do nível em que se encontra determinada organização e até que ponto consegue atingir a circularidade

em suas operações, demonstrando pontos fortes e áreas de melhorias (Almeida, 2020).

### 2.2.3 Métodos e Estratégias

A 26ª Conferência das Partes, que aconteceu em Glasgow em 2021, definiu metas para a redução de emissões até o ano de 2030. Diversos requisitos foram revelados para alcançar o objetivo, como o controle do desmatamento, a utilização de veículos elétricos e os investimentos em fontes de energia renováveis (ONU, 2021).

Segundo Munhoz *et al.*, (2021), o ambiente e a economia precisam estar associados em uma relação circular para que a aplicação da economia circular com base na estratégia de fechar ciclos seja viável.

Para realizar a circularidade, é preciso adotar o processo estratégico de limitação dos ciclos. De acordo com Mendoza *et al.*, (2017) certificam que as reduções nos impactos ambientais resultariam soluções relacionadas ao controle do *loop*.

O método de fechar ciclos depende mais de gerar valor dos produtos que podem serem atingidos por meio da reciclagem e reutilização (Bocken *et al.*, 2016). A Comissão Europeia (Comissão Europeia, 2019) instituiu um Plano de Ação referente a economia circular, onde foram implementadas ações equivalentes a nível global e são avaliadas por indicadores específicos (Moraga *et al.*, 2019).

De acordo com (Kirchherr *et al.*, 2017 ; Ghisellini *et al.*, 2016), diversos modelos de economia circular vinculam a concepção de circularidade e a maneira de como as organizações podem efetivar o método dos 3R, que fundamenta-se em reduzir, reutilizar e reciclar. Para um melhor entendimento, esta metodologia está exposta na Figura 5.

FIGURA 5 – MODELO ECONOMIA CIRCULAR



FONTE: Baldassin (2018).

A forma mais tradicional de desempenhar a economia circular é a reciclagem, onde apresenta a valorização de materiais e produtos buscando a minimização por meio da reintrodução de resíduos no processo de produção (Nações Unidas, 2003). Uma outra maneira para a aplicação desta metodologia consiste na renovação de produtos, que transforma um produto usado ou o valor de um elemento (Weelden *et al.*, 2016).

Sendo assim, uma excelente ferramenta que pode analisar a estabilidade da implementação da economia circular é a avaliação do ciclo de vida, que consiste em uma metodologia que permite avaliar os possíveis impactos ambientais de processos, perante a perspectiva do ciclo de vida de um produto, possibilitando a identificação dos pontos que precisam de melhorias e um desenvolvimento da gestão de recursos (Haupt; Zschokke, 2017).

#### 2.2.4 Aplicação da Economia Circular

A economia circular pode ser aplicada em qualquer escala, para indivíduos, organizações e até mesmo na agricultura. Um exemplo de aplicação é no modelo de trocas *trade-in* de empresas de aparelhos eletrônicos. A ideia desta referência é elaborar um ciclo entre cliente e empresa, onde a devolução de um aparelho usado pode gerar um crédito para auxiliar na compra de outro aparelho (Apple INC, 2019).

Este modelo de trocas busca criar um laço de lealdade com o cliente, pois apresenta o estímulo de que o próximo aparelho adquirido seja da marca, uma vez que existirá esse desconto. Para a empresa, o ganho vem por meio deste programa, mas também na revenda dos aparelhos mais recentes que estiverem em boas condições, no entanto um fator de grande importância é a reciclagem, onde as partes mais valiosas dos aparelhos são coletadas pela Daisy, um robô experiente ligado a um *software* que permite coletar as matérias com maior valor de cada modelo de aparelho, esses materiais podem então ser reutilizados em outras partes da cadeia produtiva (Pinho *et al.*, 2021).

Em busca de ser uma empresa verde, a Apple criou o programa mencionado anteriormente como uma forma de minimizar a sua própria produção de lixo, recuperando dispositivos que foram usados por meio do programa de reciclagem interna que utiliza o robô industrial, que desmonta aparelhos e recupera seus componentes e metais mais valiosos (Atalaino *et al.*, 2022).

Dentro do conceito da economia circular, alguns modelos de como uma indústria pode usufruir melhor os materiais recicláveis já foram implantados, como o reaproveitamento da fibra do coco para enchimento dos bancos automotivos e o alumínio em peças de suspensão (Vier *et al.*, 2021).

## 2.3 PRODUÇÃO DE BATERIAS DE LÍTIO

O presente tópico apresentará o processo de produção de baterias de lítio, detalhando desde a mineração do material até a sua reciclagem, abordando também as respectivas legislações das baterias de lítio.

### 2.3.1 Processo de Produção das Baterias

De acordo com Kübler *et al.*, (2017), a produção de células de bateria de íons de lítio apresenta três etapas. O primeiro passo corresponde a produção dos eletrodos, em seguida a célula da bateria é produzida e por fim é realizado o condicionamento celular. Essas etapas de produção consistem em aproximadamente vinte etapas de processos, como pode ser observado no Quadro 1.

QUADRO 1 – ETAPAS DE PRODUÇÃO DAS BATERIAS DE LÍTIO

| Seção de produção        | Etapas do processo         | Produto intermediário         |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|
| Produção de eletrodos    | Mistura a seco             | Mistura seca                  |
|                          | Dispersão                  | Suspensão                     |
|                          | Armazenamento de suspensão | Suspensão armazenada          |
|                          | Revestimento               | Eletrodo úmido                |
|                          | Secagem                    | Bobina de eletrodo revestido  |
|                          | Comprimindo                | Bobina de eletrodo comprimido |
|                          | Separação de eletrodos     | Folhas de eletrodos           |
| Produção celular         | Desenho profundo           | Eletrodo                      |
|                          | Construção de pacotes      | Pacote                        |
|                          | Pós-secagem                | Pacote pós-seco               |
|                          | Contato                    | Pacote contatado              |
|                          | Primeira selagem           | Célula parcialmente selada    |
|                          | Enchimento de eletrólito   | Célula preenchida             |
|                          | Segunda selagem            | Célula bruta                  |
|                          | Temperamento               | Célula temperada              |
| Condicionalmento celular | Formação                   | Célula formatada              |
|                          | Qualificação               | Célula                        |

FONTE: Meinersa *et al.*, (2022).

Desta maneira, células de baterias que apresentaram defeitos e passaram por todas as etapas do processo possui um grande efeito nos custos de produção devido ao consumo de recursos e energia, sendo de grande importância encontrar falhas nas propriedades intermediárias quando estiverem na fase inicial do processo (Kwade *et al.*, 2018).

Essas relações podem ser entendidas por meio de três exemplos, sendo o primeiro já na etapa de mistura onde a inclusão de aditivos condutores ao material ativo para a produção ânodos estabelece a porosidade do ânodo. Após este processo, o enchimento com eletrólito precisa considerar que a quantidade de eletrólito varia com a porosidade que se desvia (Westermeyer *et al.*, 2013).



O segundo exemplo corresponde na etapa do processo de empilhamento, onde é fundamental uma cobertura completa do cátodo para evitar a geração de dendritos. Sendo assim, para atingir uma alta precisão de deposição neste processo, há alguns quesitos no procedimento de corte dos eletrodos, na qual se as tolerâncias para as dimensões do ânodo e do cátodo não forem mantidas no corte, então no empilhamento terá um aumento para assegurar uma cobertura completa do cátodo (Tang *et al.*, 2009).

O grau de umedecimento é outro exemplo, ele consiste em uma propriedade decisória para a qualidade da célula e tem influência tanto do processo de enchimento do eletrólito quanto pelo tempo de sedimentação e o processo de revenimento. O grau de umedecimento devido ao tempo de sedimentação e ao processo de têmpera é limitado se a quantidade de eletrólito não for atingida no enchimento de eletrólito (Kwade *et al.*, 2018).

Portanto, através desses exemplos é possível compreender a correlação entre as características do processo e do produto e mostram que não são limitadas a um processo, mas sim entre processos. Já a otimização em relação aos custos e a produtividade deve considerar toda a cadeia do processo (Meinersa *et al.*, 2022).

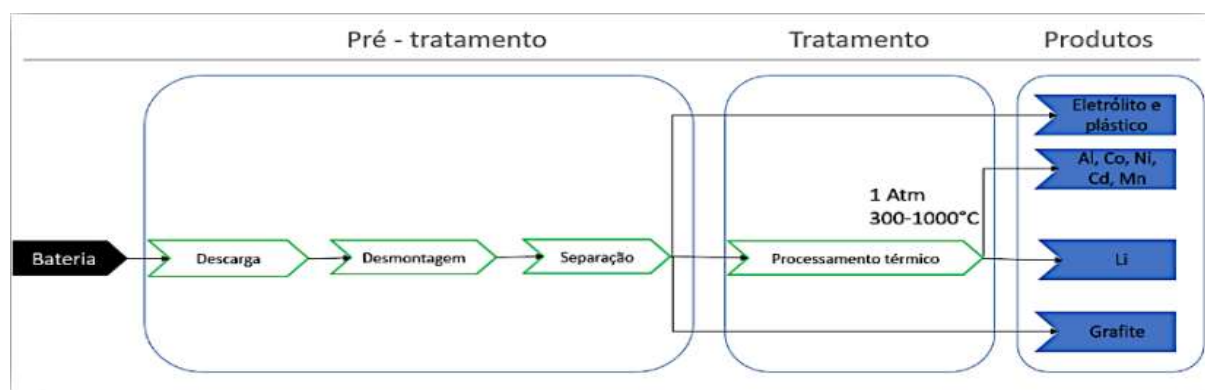
### 2.3.2 Reciclagem das Baterias

A reciclagem das baterias de lítio tem sido realizada por meio de processos mecânicos, pirometalúrgicos e hidrometalúrgicos. Esses processos apresentam alguns pontos desfavoráveis, como alto custo energético e baixa eficiência na recuperação de metais (Kim *et al.*, 2021).

Em vista disso, diversas pesquisas estão sendo feitas para minimizar essas questões e alguns processos alternativos de reciclagem foram apontados como a reciclagem direta, biometalurgia, reciclagem conduzida por campo elétrico e reciclagem por indução térmica (Kasprzak *et al.*, 2017).

Segundo Martínez *et al.*, (2019), o processo de reciclagem das baterias de lítio através da pirometalurgia consiste na separação dos materiais metálicos dos não metálicos através do tratamento térmico, passando pelas etapas de pré-tratamento e tratamento, conforme apresentado na Figura 6.

FIGURA 6 – DIAGRAMA DO PROCESSO PIROMETALÚRGICO



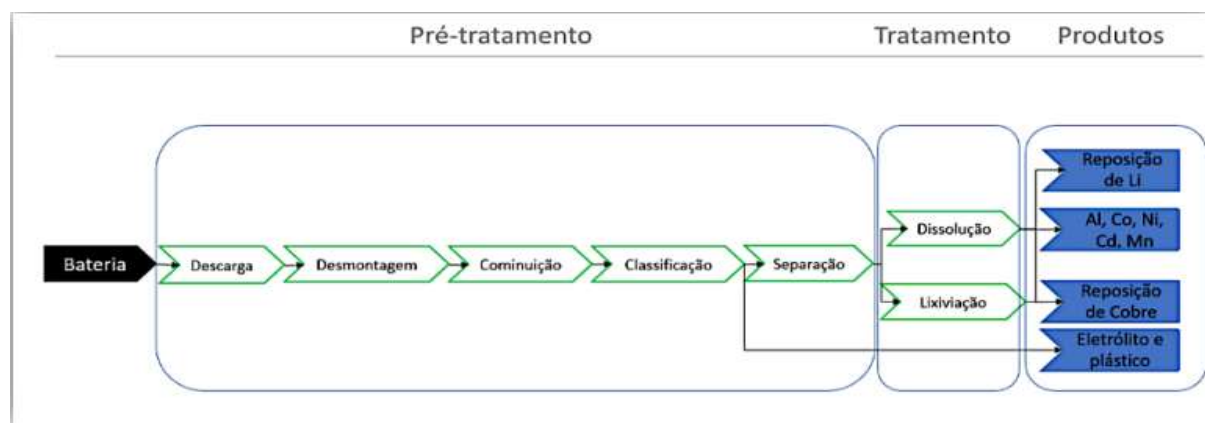
FONTE: Mantegazini *et al.*, (2024).

O processo de pré-tratamento consiste nas etapas de descarga, desmontagem e separação dos componentes das baterias de lítio, na qual tem como finalidade separar os metais de alto valor. No processo de tratamento, os metais passam por um tratamento térmico chamado pirólise, na qual a bateria é submetida a elevadas temperaturas, em um ambiente controlado (Li *et al.*, 2018).

No decorrer do processo de pirometalurgia acontecem algumas reações físico-químicas, como a fusão, volatilização, redução e oxidação dos materiais, o que colabora para a separação e recuperação dos metais na forma de ligas (Makuza *et al.*, 2021).

De acordo com Jin *et al.*, (2022), o processo de reciclagem hidrometalurgia abrange a dissolução dos componentes das baterias de lítio em soluções químicas, proporcionando a extração e recuperação dos metais, conforme mostra a Figura 7.

FIGURA 7 – PROCESSO DE RECUPERAÇÃO POR HIDROMETALURGIA



FONTE: Mantegazini *et al.*, (2024).

Os tratamentos hidrometalúrgicos são flexíveis, ecológicos, utilizam menos energia, têm taxa de reação aceitável e não contaminam o ar (Golmohammadzadeh *et al.*, 2018).

A reciclagem direta como um processo alternativo, consiste em um método onde os cátodos gastos possam ser regenerados em novos materiais para reutilização. Esse processo surgiu como uma solução a nível laboratorial, apresentando vantagens em termos de custo, energia, meio ambiente e retorno econômico (Wei *et al.*, 2023).

O processo de biometalurgia é uma tecnologia que exhibe vantagens no tratamento de resíduos, através da utilização de microrganismos para recuperar metais de minérios, concentrados e materiais reciclados (Roy *et al.*, 2021).

A reciclagem por campo elétrico é processo que corresponde a uma tecnologia que usa alta intensidade para separar e recuperar os materiais das baterias de lítio (Lv *et al.*, 2021).

A indução térmica baseia-se na aplicação de correntes de alta frequência a uma bobina de indução, gerando um campo magnético variável, é aplicada diretamente nos componentes das baterias, permitindo um aquecimento uniforme, assim o material é fundido usando a técnica de indução magnética e as impurezas presentes são separadas e retiradas (Kriston *et al.*, 2020).

### 2.3.3 Legislação das Baterias De Lítio

De acordo com Barkhausen *et al.*, (2023) as baterias possuem uma normativa a nível de União Europeia desde 1991. A Diretiva 91/157/CEE do conselho foi a primeira realização elaborada a tratar das baterias, visando a recuperação e eliminação das baterias usadas.

Através de uma consulta pública e de um estudo de avaliação de impactos, foi publicado a Diretiva 2006/66/CE que engloba os requisitos como taxas mínimas de recolhimento e eficiência de reciclagem (Bobba *et al.*, 2019).

Um estudo realizado direcionou a proposta da comissão de um novo regulamento em dezembro de 2020, na qual busca abordar o ciclo de vida das baterias e menciona com ênfase as baterias de lítio, incluindo diversos requisitos de economia circular, como a reciclagem específica de materiais, identificações legais a respeito da vida útil das baterias. Esta proposta está em curso desde 2020 e um acordo temporário foi obtido em dezembro de 2022 (Malinauskaite *et al.*, 2021).

No Brasil, a resolução CONAMA 257, de 22/07/1999, art. 2º que estabeleceu o requisito de reciclagem, reutilização e disposição final correta das mesmas, responsabilizando fabricantes e importadores de armazenar da forma certa as baterias que são devolvidas (Aranha, 2018).

Sendo assim, com o passar do tempo esta resolução precisou ser substituída pela resolução CONAMA nº 401 que é utilizada atualmente. Um dos pontos de alteração é a exigência da diminuição nos teores de metais presentes nas baterias, além de estabelecer parâmetros para a uma gestão ambiental apropriada, ficando a responsabilidade aos fabricantes de controlar o ciclo de seus produtos. A norma ainda retrata que as embalagens fabricadas para as baterias devem apresentar a simbologia da destinação adequada, alertas sobre os riscos à saúde humana e ao meio ambiente e a necessidade de serem devolvidas aos revendedores (Furtado, 2003).

Portanto, aos fabricantes, importadores, comerciantes de baterias terão o incentivo através de parcerias com o poder público e a sociedade civil, a promover campanhas de educação ambiental e informações sobre a importância do descarte correto das baterias de lítio (Moreira, 2023).

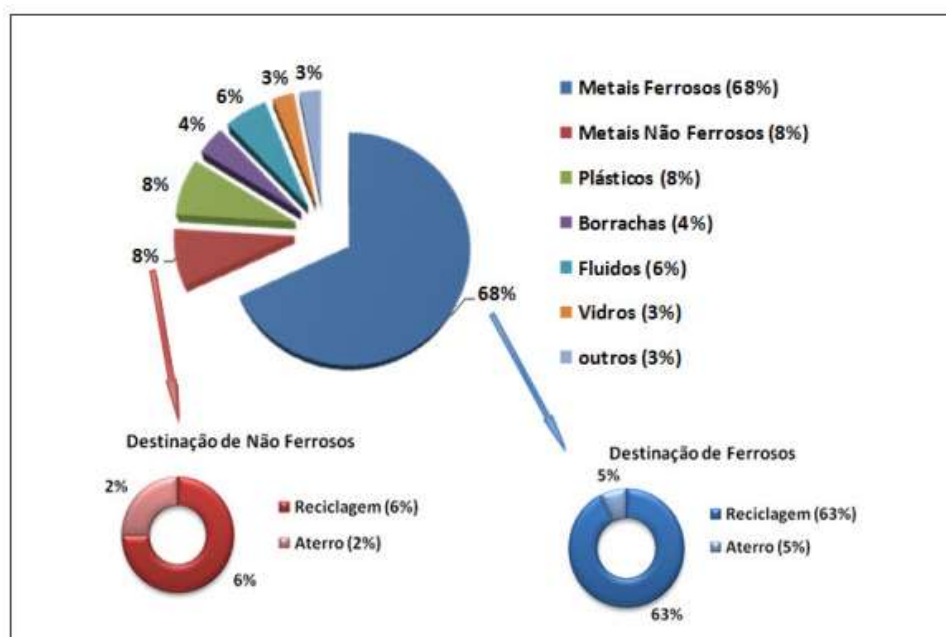
## 2.4 ESTUDOS APLICADOS DE ECONOMIA CIRCULAR NO SETOR AUTOMOBILÍSTICO

Neste tópico será abordado os modelos de economia circular vinculado ao setor automobilístico, as diretrizes e respectivas ferramentas baseadas em pesquisas bibliográficas.

### 2.4.1 Modelos de Economia Circular

Segundo Sharma *et al.*, (2016), os veículos são os principais exemplares de uma cadeia produtiva, pois possuem uma combinação de materiais como os metais, plásticos, borrachas, fluídos e a sua disposição pode ser analisada na Figura 8.

FIGURA 8 – GRÁFICO DA COMPOSIÇÃO DE MATERIAIS DE UM AUTOMÓVEL



FONTE: Pinho *et al.*, (2021).

Observando a composição de um automóvel, é possível notar que grande parte desses materiais são recicláveis. A estratégia de reciclagem ciclo fechado é uma ótima alternativa, pois possibilita que um produto possa ser reciclado, retornando ao início do ciclo (Pinho *et al.*, 2021).

O ciclo fechado de reciclagem ainda está em processo de construção, sendo um propósito a ser atingido. Uma montadora automobilística por exemplo tem o projeto TCCR (car-to-car *recycle project* – projeto de reciclagem carro para carro), que visa a redução, reuso e reciclagem, eliminando riscos relacionados à recursos e o aquecimento global. Nesse programa, a reciclagem de ciclo fechado é o objetivo, onde primeiramente é feita como substrato para outras indústrias, em outra etapa alguns equipamentos são usados para a fabricação dos veículos, otimizando a reciclagem para reutilização (Toyota Motor Corporation, 2018).

Outro modelo aplicado a fim de determinar novas maneiras de sustentabilidade é de uma montadora automobilística, que busca desenvolver e comercializar novas células de bateria para veículos pesados, de maneira mais sustentável, cobrindo o processo de manufatura, desde a mineração das matérias primas até a deposição dos resíduos na produção, além da sua reutilização ao fim da vida útil (The Scania Report, 2018).

#### 2.4.2 Diretrizes de Economia Circular

De acordo com Boiral *et al.*, (2018), os padrões ambientais são caracterizados como contribuintes para o desempenho ambiental, financeiro e social de uma organização, sendo evidenciado a importância dos recursos financeiros e das limitações na inovação verde e das patentes circulares.

Scarpellini *et al.*, (2021), revelaram uma ligação entre as patentes verdes e o desempenho financeiro das empresas transformadoras na Espanha e Europa. O estudo realizado evidenciou que os principais ativos econômicos e financeiros, levaram a cooperação entre empresas e centros de investigação que resultaram em um acordo de propriedade compartilhada para estas patentes.

Em vista disso, alguns investigadores levantaram anseios sobre a incerteza e complexidade à avaliação do desempenho ambiental, essa imprecisão é atribuída à natureza dos novos padrões ambientais e à propagação de tecnologias e inovações (Amini; Rahmani, 2023).

Desta forma, estão disponíveis alguns padrões para a sustentabilidade como por exemplo a BS:8001:2017 que foi desenvolvida para definir diretrizes para a economia circular e para uma gestão sustentável, auxiliando as empresas migratórias para negócios de economia circular. A norma tem em vista a conciliação da forma de alcançar a economia circular por meio das rotinas empresariais, abrangendo diversos princípios e uma estrutura para a implementação. Descreve também os aspectos ambientais, políticos, econômicos e financeiros, além de seis dimensões que podem ser considerados requisitos para a aplicação da economia circular tais como, o pensamento sistêmico, administração, inovação, colaboração, otimização do produto na cadeia de valor e transparência (Pauliuk, 2018).

Ao analisar as ideias que constituem a norma BS 8001:2017, é possível notar que a mesmas englobam diferentes teorias, envolvendo a teoria dos sistemas, a ecoinovação, isto é a dimensão da colaboração e a visão fundamentada em recursos e capacidades dinâmicas, ou seja, dimensões de inovação e administração (Pacheco *et al.*, 2024).

A efetivação das dimensões possibilita ter uma visão mais estratégica, permitindo que suas práticas sejam mais sustentáveis e competitivas no mercado, revelando-se mais favorável para lidar com os desafios para a implementação da economia circular (Usón *et al.*, 2020).

Portanto, a BS 8001:2017 foi desenvolvida baseada nos conceitos mais recentes de economia circular, nas experiências de diversas empresas na jornada voltada aos modelos da mesma, visando auxiliar as organizações a adotar práticas mais sustentáveis e reestruturar os seus modelos de negócio (Niero; Rivera, 2018).

Segundo Grindsted (2019), quatro princípios podem ser utilizados no desenvolvimento de novos produtos, processos ou aperfeiçoar sistemas já existentes. Seguindo esta mesma teoria, Filho *et al.*, (2021), aplicou o conceito de economia circular à mobilidade, inserindo os princípios de distâncias mais curtas e maior utilização da tecnologia de mobilidade para sustentar o serviço.

Desta maneira, a fim de reformular processos e produtos à circularidade, a diretriz de incentivar a conscientização circular baseada na divulgação do acordo social em redes participativas e colaborativas é um ponto bastante pertinente para a economia circular (Canejo, 2021).

#### 2.4.3 Ferramentas utilizadas para o modelo de Economia Circular

A avaliação do ciclo de vida, juntamente com o inventário de ciclo de vida (ICV) e a avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV), são exemplos de ferramentas utilizadas para o modelo de economia circular, elas abrangem todo o ciclo de vida de um produto ou processo, desde a extração da matéria-prima até o uso e descarte e apresenta um objetivo de quantificar e avaliar o desempenho ambiental de um produto ou processo, verificando pontos de melhoria da sustentabilidade (Curran, 2016).

A metodologia de decisão multicritério (MCDM) e *Fuzzy* usam diversos parâmetros para a tomada de decisões. O MCDM examina possibilidades com base nos critérios, já a ferramenta *Fuzzy* retrata informações indefinidas. A finalidade desses mecanismos é auxiliar na tomada de decisões levando em consideração os diversos critérios (Stewart; Durbach, 2016).

A ferramenta de Projeto para X (DfX) precisa de especificações e requisitos de projeto e busca otimizar um produto ou processo, tendo como objetivo o melhor desempenho geral, direcionando-se em aspectos específicos no decorrer da fase de design (Jari *et al.*, 2011).

Outra metodologia é a análise envoltória de dados, na qual é utilizado dados de entrada e saída para verificar a eficiência das unidades de tomada de decisão,

buscando avaliar a capacidade e a aplicação de recursos em vários setores econômicos (Cooper *et al.*, 2011).

A análise de fluxo de materiais (AFM) controla o fluxo de materiais por meio de um sistema para entender o consumo de recursos e a geração de resíduos, visando avaliar a sustentabilidade e a eficiência da utilização de materiais (Graedel; Allenby, 2009). A abordagem de energia analisa a estrutura energética, e a exergia avalia a eficiência e a qualidade energética, ambas apresentam a finalidade de fornecer *insights* sobre o uso dos recursos energéticos dentro de um sistema (Sciubba, 2009).

Por fim, a simulação de eventos discretos (SED) possui o objetivo de simular e analisar o desempenho do sistema sob determinadas condições, auxiliando na tomada de decisões e na otimização de processos (Collins *et al.*, 2023).

## 2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO

Com a realização da revisão bibliográfica foram apresentados importantes conceitos sobre os temas diretos e correspondentes a pesquisa, dentre eles fica evidenciado a relevância da transição de modelos econômicos lineares para um modelo circular, revelando uma forma alternativa para redirecionar o crescimento de veículos elétricos com enfoque nos benefícios para a sociedade.

A revisão iniciou-se retratando a evolução histórica dos veículos elétricos, os fluxos de processos de produção, os impactos causados pela produção dos mesmos como a emissão de GEE e aquecimento global e também a forma de gestão de operações no setor automobilístico, buscando garantir a eficiência e a qualidade na fabricação, distribuição e manutenção dos veículos. Além disso, dispôs com a fundamentação teórica da economia circular, apresentando seus indicadores que são importantes para analisar e melhorar as grandezas da aplicação da economia circular, pois oferecem boas ferramentas de medição de desempenho, seus métodos e estratégias, diretrizes, alguns exemplos de aplicação deste conceito e suas ferramentas como a avaliação do ciclo de vida, que visa analisar o desempenho ambiental de um produto ou processo, identificando pontos de melhorias para o meio ambiente.

Por fim, foi descrito como é realizado o processo de produção de baterias de lítio, sua cadeia produtiva, respectivas legislações e como é constituído o



processamento de reciclagem das baterias de lítio, buscando evidenciar a necessidade da reciclagem pois apresenta a competência de minimizar o risco da falta de matéria prima e mitigar os impactos ambientais.

Sendo assim, a revisão bibliográfica possui toda concepção necessária para a aplicação de um modelo de economia circular e apresenta potencial para implementar padrões inovadores e ajudar a sociedade a ter um maior bem-estar, utilizando menos recursos e visando o desenvolvimento sustentável.

### 3 MÉTODOS DE PESQUISA

Neste capítulo será abordado o método de pesquisa, assim como, a classificação da pesquisa, as ferramentas, estratégias aplicadas para realizar as ações e por fim os resultados esperados.

#### 3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

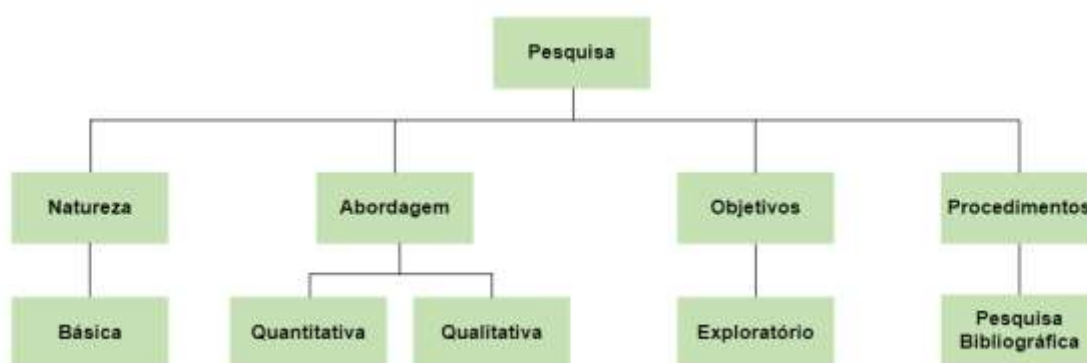
Este estudo, pode ser classificado de acordo com a sua natureza como básica, uma vez que Silva; Menezes (2005), retrata que a finalidade de uma pesquisa básica é promover novos conhecimentos para o progresso da ciência, abrangendo interesses universais e autenticidade.

Na perspectiva de seus objetivos, a pesquisa pode ser caracterizada como exploratória, pois busca ampliar o entendimento por meio de pesquisas bibliográficas. Este modelo de pesquisa visa auxiliar o vínculo do pesquisador com o problema em questão, possibilitando o levantamento de hipóteses (Gil, 2002).

Inicialmente, a pesquisa será desenvolvida de forma qualitativa, em que o pesquisador irá analisar os dados relacionados ao estudo e selecionar trabalhos científicos. Em seguida, a verificação e apresentação dos resultados será realizada de maneira quantitativa, aplicando recursos e mecanismos estatísticos (Silva; Menezes, 2005).

De acordo com Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é realizada a partir de um material já desenvolvido, como artigos científicos, livros e materiais publicados na internet. Desta forma, o presente estudo utiliza a pesquisa bibliográfica para a elaboração do projeto e o dimensionamento do mesmo pode ser analisado na Figura 9.

FIGURA 9 – DIMENSIONAMENTO DA PESQUISA



FONTE: Autor (2024).

### 3.2 PROCEDIMENTOS PARA REVISÃO DE LITERATURA

Nesta seção são retratados os procedimentos para a revisão de literatura, na qual foi realizada com a aplicação da metodologia. Gil (2002), destaca que um dos benefícios da pesquisa bibliográfica corresponde a capacidade do pesquisador avaliar uma série de fenômenos.

Para a elaboração da revisão sistemática, foi utilizado como base o modelo de Garza-Reyes (2015), que define as etapas para a revisão de literatura, denotando os objetivos, mecanismos e ferramentas de cada fase. O segmento do modelo foi realizado em quatro etapas, tais como:

1. A formulação de problema;
2. Localização e seleção dos estudos;
3. Análise e síntese;
4. Reportar e utilizar resultados.

A primeira etapa corresponde a formulação de problema e possui o objetivo em responder duas questões sendo elas, “como a relação de economia circular das baterias de lítio utilizadas em veículos elétricos vem sendo abordada na literatura?” e “quais ferramentas empregam a ligação da economia circular e da sustentabilidade?”, como maneira de conduzir finalidades da pesquisa.

Na fase de localização e seleção dos estudos, foram estabelecidas as fontes de pesquisas para a busca, sendo realizadas entre o período de 2013 a 2023 através do periódico da capes, conforme o artigo de Jabbour *et al.*, (2019), sendo:

- Scopus;
- SciELO.

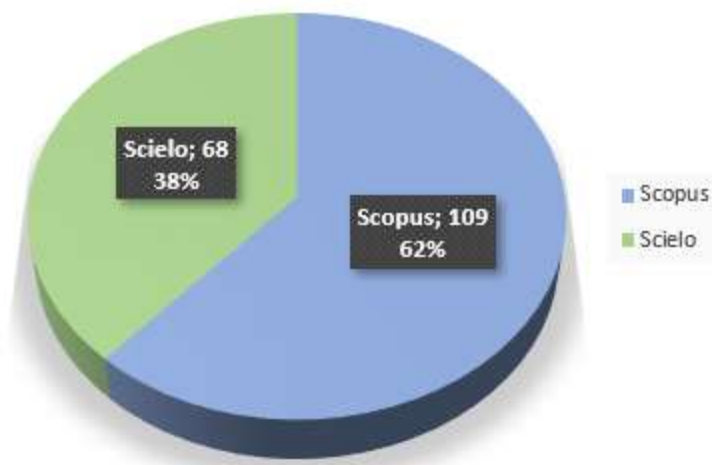
Desta maneira, foram usados dois grupos de palavras para a respectiva base de dados, sendo eles:

- Grupo 1: Circular Economy AND Lithium Batteries OR Electric Vehicles;
- Grupo 2: Recycling AND Lithium Batteries AND Electric Vehicles.

A busca nos bancos de dados resultou em um total de 177 publicações, sendo 68 no Scielo e 109 no Scopus, conforme ilustrado na Figura 10. Após a coleta dos artigos, utilizando o *software Start*, foi realizada a etapa de análise e síntese dos trabalhos, seguindo as fases de remoção de artigos duplicados, eliminação de livros

e capítulos de livros, análise dos títulos, resumos e disponibilidade dos artigos selecionados.

FIGURA 10 – RESULTADO DA BUSCA NAS BASES DE DADOS



FONTE: Autor (2024).

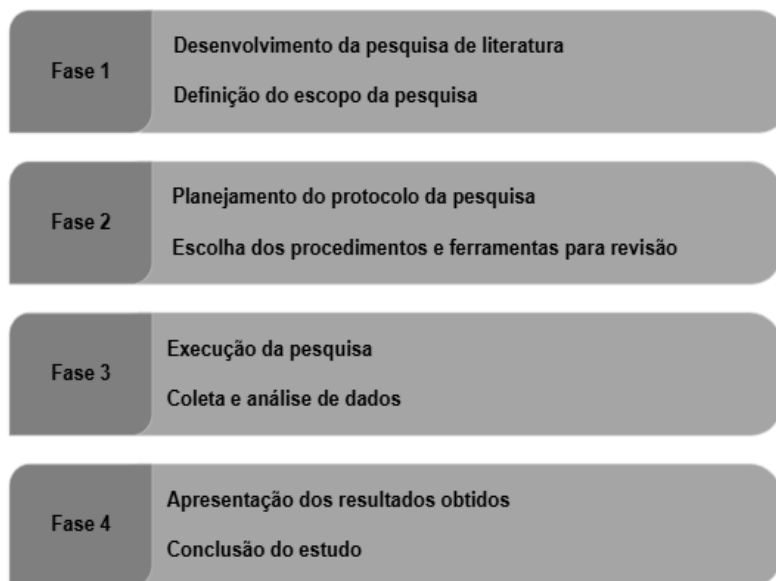
O *software Start* foi utilizado para identificar automaticamente artigos duplicados, permitindo a primeira seleção das publicações. Em seguida, realizou-se a análise dos títulos e resumos, excluindo os artigos que não estavam alinhados com o foco da pesquisa. Após essa etapa, foi realizada a leitura dos artigos selecionados, com o objetivo de integrar os estudos à revisão. Sendo assim, ao final da análise, 10 artigos foram escolhidos para compor os estudos da revisão de literatura, onde será apresentado de forma detalhada no capítulo 4.

### 3.3 PROTOCOLO DA PESQUISA

#### 3.3.1 Planejamento da pesquisa

Visando alcançar os objetivos apresentados anteriormente, este ponto que consiste no planejamento da pesquisa será detalhado as ações para o desenvolvimento do projeto. Desta forma, para exemplificar este plano, o projeto foi dividido em quatro fases que podem ser analisadas na Figura 11.

FIGURA 11 – FASES DA PESQUISA



FONTE: Autor (2024).

De acordo com as fases retratadas na figura anterior, será descrito o detalhamento do que será desenvolvido em cada uma delas, buscando entender como será realizado a análise de dados.

Na fase 1 é feito a pesquisa de literatura através de artigos, livros e monografias, para fundamento sobre a temática. Além disso, é estabelecido o tema de pesquisa e determinado o escopo do projeto, por meio do objetivo geral e específico.

Na fase 2 são definidos os objetivos geral e específico e o planejamento de busca, englobando a questão de pesquisa, base de dados, os fatores e os modelos de estudos planejados, assim como a definição dos procedimentos e ferramentas para a revisão.

Na fase 3 é realizado a execução da pesquisa, sendo feitas as buscas nas bases de dados e os estudos selecionados fundamentado nos parâmetros definidos anteriormente. As informações são colocadas no *software Start*, que serve como uma ferramenta para o desenvolvimento das fases de revisão e através deste os estudos são coletados, analisados e assim podem ser avaliados conforme as especificações.

A última fase, os resultados obtidos são apresentados por meio de uma análise com descrição por autor, método de pesquisa e conteúdo das pesquisas, alcançando então à conclusão do estudo.

### 3.3.2 Coleta, tabulação e análise dos dados

De acordo com Ferreira (2002), os estudos de revisão de literatura apresentam um objetivo de organizar trabalhos de forma que seja possível entender aquilo que foi mencionado sobre determinado tema, distinguir abordagens teóricas, métodos, referências, ou até mesmo saber o que ainda não foi problematizado.

Desta maneira, para o desenvolvimento da revisão de literatura é fundamental a coleta, análise e a organização dos estudos. Na etapa inicial de identificação, foram executadas as *strings* de busca adaptadas para cada base de dados. Nos estudos, os dados foram exportados no formato *Bibtex*, permitindo sua importação para a ferramenta empregada. Para isso, será utilizado o *software Start* que é uma ferramenta auxiliar de análise, elaborada pelo laboratório de pesquisa em engenharia de *software* da Universidade Federal de São Carlos que serve como base a revisão, sendo dividida em três etapas: planejamento, execução e publicação, de acordo com a Figura 12.

FIGURA 12 – MODELO APRESENTADO AS FASES DA FERRAMENTA START



FONTE: Ferramenta *Start*.

Inicialmente, será realizado a seleção dos estudos por meio de uma análise para cada título separadamente, selecionando os estudos que apresentam relação com a estratégia de busca ou com os critérios de inclusão e qualidade

determinados. Em seguida, os trabalhos selecionados são submetidos a etapa de extração, onde serão avaliados novamente os critérios de inclusão, exclusão e qualidade, resultando em uma lista de estudos completa.

Desta forma, poderá ser feito a leitura desses trabalhos e assim avaliar a qualidade e retirar os dados de descrição do estudo, bem como as informações específicas referente a questão de pesquisa, alterando os campos relacionados ao estudo e adicionando informações relevantes.

Após realizada esta etapa, os resultados serão avaliados e documentados, podendo ser encontrados no *software Start* como publicação, na qual são retratados por meio de tabelas, gráficos e outras formas de visualização.

#### **4 ANÁLISE DE RESULTADOS**

Neste capítulo, serão apresentados os resultados de uma revisão da literatura, com base nos procedimentos detalhados no Capítulo 3. A revisão abrangeu artigos publicados entre 2013 a 2023, resultando na inclusão de dez estudos, conforme apresentado no Quadro 2, que correlaciona os artigos aos métodos de pesquisa adotados.

A primeira parte da análise consiste em uma abordagem quantitativa, oferecendo uma visão geral das pesquisas mais recentes. Na sequência, será realizada uma análise qualitativa, destacando os principais pontos discutidos nos artigos. Por fim, será apresentado três artigos, na qual foram selecionados para uma análise mais aprofundada.

QUADRO 2 – ARTIGOS RESULTANTES DA REVISÃO DE LITERATURA

| Nº | Autor                    | Ano  | Título                                                                                                                                       | Método de Pesquisa    |
|----|--------------------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| 1  | Moore <i>et al.</i>      | 2020 | Spatial modeling of a second-use strategy for electric vehicle batteries to improve disaster resilience and circular economy                 | Estudo de caso        |
| 2  | Mossali <i>et al.</i>    | 2020 | Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments                      | Revisão de Literatura |
| 3  | Ahuja <i>et al.</i>      | 2020 | A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change                                                                        | Revisão de Literatura |
| 4  | Ferrara <i>et al.</i>    | 2021 | Circular Economy and the Fate of Lithium Batteries: Second Life and Recycling                                                                | Revisão de Literatura |
| 5  | Chan <i>et al.</i>       | 2021 | Closed-Loop Recycling of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles                        | Estudo experimental   |
| 6  | Dunn <i>et al.</i>       | 2021 | Circularity of Lithium-Ion Battery Materials in Electric Vehicles                                                                            | Revisão de Literatura |
| 7  | Wralsen <i>et al.</i>    | 2021 | Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers                                                     | Estudo experimental   |
| 8  | Lima <i>et al.</i>       | 2022 | Economic Aspects for Recycling of Used Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles                                                          | Estudo experimental   |
| 9  | Lähdesmäki <i>et al.</i> | 2023 | Insights into Circular Economy Potential of Lithium by System Dynamic Modelling of Material Streams                                          | Estudo experimental   |
| 10 | Michelini <i>et al.</i>  | 2023 | Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects | Revisão de Literatura |

FONTE: Autor (2024).

#### 4.1 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE ECONOMIA CIRCULAR PARA BATERIAS DE LÍTIO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

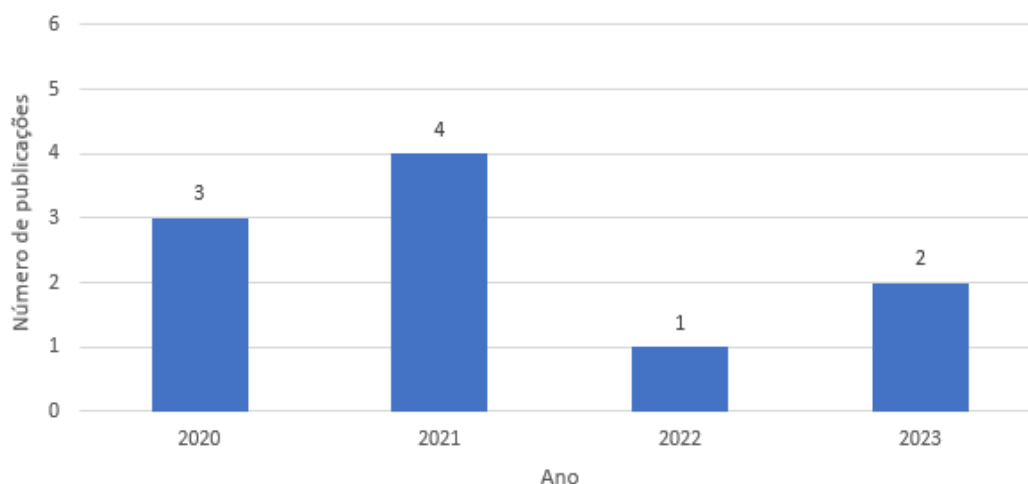
##### 4.1.1 Análise quantitativa sobre os estudos

A distribuição dos estudos sobre economia circular para baterias de lítio pode ser observada na Figura 13. Nota-se que os anos de 2020 e 2021 foram os que tiveram os maiores números de publicações, período que representa 70% do total de artigos da revisão de literatura.

Essa quantidade de publicações indica que o tema de economia circular é um campo de pesquisa emergente, com grande potencial de crescimento, como evidenciado pela quantidade de amostras analisadas.



FIGURA 13 – GRÁFICO DE EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES



FONTE: Autor (2024).

Ao examinar os periódicos das publicações, foi possível observar que o *Journal Energies* foi o mais representativo, com um total de dois artigos publicados. Os demais periódicos apresentaram apenas um artigo cada, conforme ilustrado no Quadro 3.

QUADRO 3 – PERIÓDICO DAS PUBLICAÇÕES

| Periódico                                           | Número de artigos |
|-----------------------------------------------------|-------------------|
| Batteries and Supercaps                             | 1                 |
| Advanced Energy and Sustainability Research         | 1                 |
| Energies                                            | 2                 |
| Journal of Cleaner Production                       | 1                 |
| Resources, Conservation and Recycling               | 1                 |
| ACS Sustainable Chemistry and Engineering           | 1                 |
| Journal of Environmental Management                 | 1                 |
| Environmental Science and Technology                | 1                 |
| Journal of Property, Planning and Environmental Law | 1                 |

FONTE: Autor (2024).

A classificação dos periódicos foi realizada com base no fator de impacto, conforme apresentado no Quadro 4, utilizando os critérios definidos pelo site de cada periódico, com dados de 2023. Observa-se que a *Resources, Conservation and Recycling* detém o maior fator de impacto entre os analisados, seguido por *Environmental Science and Technology* e *Journal of Cleaner Production*. Isso indica que as pesquisas sobre o tema são de grande relevância e impacto na área.

QUADRO 4 – FATOR DE IMPACTO DOS PERIÓDICOS

| Periódico                                           | Fator de impacto |
|-----------------------------------------------------|------------------|
| Batteries and Supercaps                             | 5,1              |
| Advanced Energy and Sustainability Research         | 6,2              |
| Energies                                            | 3,0              |
| Journal of Cleaner Production                       | 9,8              |
| Resources, Conservation and Recycling               | 11,2             |
| ACS Sustainable Chemistry and Engineering           | 7,1              |
| Journal of Environmental Management                 | 8,0              |
| Environmental Science and Technology                | 10,9             |
| Journal of Property, Planning and Environmental Law | 0,8              |

FONTE: Autor (2024).

Na análise das palavras-chave, realizada com o auxílio do *software Start*, foi possível identificar as palavras mais utilizadas nos artigos da revisão de literatura. Como mostrado na Figura 14, as palavras-chave são apresentadas de acordo com sua frequência, variando em tamanho conforme a sua incidência. As palavras com mais ênfase são: "*Lithium ion batteries*" e "*Circular economy*", confirmando que os estudos selecionados estão alinhados com a temática da pesquisa. Outro conjunto de palavras-chave, como "*Recycling*" e "*Electric vehicles*", aparecem em segundo plano, refletindo os princípios explorados pelos estudos.

FIGURA 14 – PALAVRAS-CHAVE MAIS USADAS

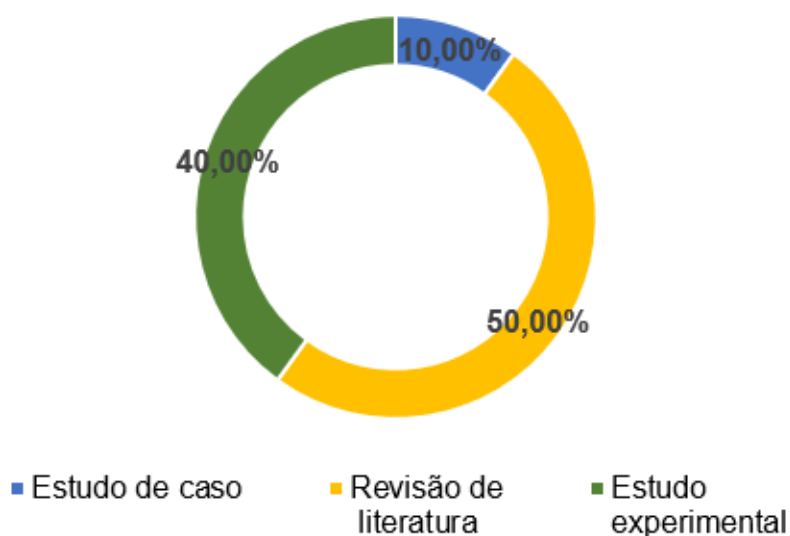


FONTE: Adaptado Start (2024).

Ao realizar uma análise mais detalhada das publicações, foi possível identificar os métodos de pesquisa aplicados nos artigos, como pode ser observado na Figura 15, que apresenta a distribuição dos artigos conforme o método de

pesquisa utilizado. A revisão de literatura foi o método mais predominante, representando 50% dos artigos. Em seguida, o estudo experimental correspondeu a 40% das publicações, enquanto o estudo de caso ficou com 10%. Esses dados indicam uma predominância de estudos qualitativos como a revisão de literatura, em comparação com os estudos quantitativos.

FIGURA 15 – CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS QUANTO AO MÉTODO DE PESQUISA



FONTE: Autor (2024).

#### 4.1.2 Análise do conteúdo das pesquisas

A partir dos resultados da revisão de literatura, foram identificados artigos que abordam a economia circular no contexto das baterias de lítio. O Quadro 5 organiza as características desses artigos, destacando o tema principal abordado e a categoria a qual pertencem.

QUADRO 5 – CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS

| Artigo                          | Tema principal                                                                                                                                                                                                                         | Categoria                          |
|---------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Moore <i>et al.</i> (2020)      | Analisar um modelo de gerenciamento de economia circular integrando três métodos: análise de decisão multicritério; fluxo de material e análise geoespacial.                                                                           | Economia circular                  |
| Mossali <i>et al.</i> (2020)    | Analisar as alternativas atuais para a reciclagem de baterias de lítio, focando especificamente nos procedimentos disponíveis para proteção e descarga de baterias, pré-tratamentos mecânicos e processos de recuperação de materiais. | Reciclagem e gestão de fim de vida |
| Ahuja <i>et al.</i> (2020)      | Destacar a necessidade de políticas para preparar o gerenciamento apropriado das baterias de lítio de veículos elétricos à medida que chegam ao fim de sua vida útil.                                                                  | Políticas de gestão de resíduos    |
| Ferrara <i>et al.</i> (2021)    | Identificar estratégias de reutilização e reciclagem que possam tornar a demanda totalmente sustentável.                                                                                                                               | Economia circular                  |
| Chan <i>et al.</i> (2021)       | Recuperação lítio, cobalto, níquel e manganês de um material de cátodo de baterias de lítio usadas de um veículo elétrico.                                                                                                             | Reciclagem e sustentabilidade      |
| Dunn <i>et al.</i> (2021)       | Análise dinâmica do fluxo de materiais globais, que inclui a verificação de cenário para alteração da química do cátodo da bateria e demanda por veículos elétricos.                                                                   | Economia circular                  |
| Wralsen <i>et al.</i> (2021)    | Explorar os modelos de negócios circulares, os motivadores, as barreiras e as partes interessadas necessárias para permitir a recaptura de valor.                                                                                      | Modelos de negócios                |
| Lima <i>et al.</i> (2022)       | Estudos sobre os aspectos econômicos da reciclagem de baterias de lítio, analisando as vantagens e desvantagens e os fatores que influenciam o custo e a viabilidade econômica do descarte de baterias.                                | Economia circular                  |
| Lähdesmäki <i>et al.</i> (2023) | Aplicação de modelagem dinâmica de sistemas para demonstrar a demanda global de lítio em aplicações específicas de lítio de 2005 a 2050.                                                                                               | Modelagem e estratégias circulares |
| Michelini <i>et al.</i> (2023)  | Estudo detalhado da literatura científica e a realização de uma entrevista com especialistas de campo.                                                                                                                                 | Economia circular                  |

FONTE: Autor (2024).

#### 4.1.2.1 Moore *et al.* (2020)

Moore *et al.*, (2020) desenvolveram um modelo de gerenciamento de economia circular para as baterias de lítio, combinando três abordagens: a análise multicritério, que define os locais estratégicos para a instalação das baterias de segundo uso; a análise geoespacial, que identifica as rotas de transporte mais eficientes entre os pontos de coleta e seus destinos principais e a análise de fluxo de materiais, que projeta a disponibilidade das baterias de lítio de segundo uso em áreas locais.

O objetivo desse estudo é demonstrar e avaliar o potencial de uma estratégia de economia circular para as baterias de íons de lítio usadas em veículos elétricos. Para que as estratégias de economia circular sejam eficazes, é essencial a aplicação viável de segundo uso, na qual mantenha seu valor e sejam considerados dados espaciais específicos, como por exemplo a infraestrutura local que possa precisar de apoio adicional da rede elétrica.

Diante disso, a metodologia utilizada aborda um estudo de caso de um desastre de apagão em Berlim, Alemanha, para demonstrar a aplicação do modelo de planejamento e distribuição circular de recursos (CRPD), na qual oferecem informações importantes para tomadas de decisões sobre a implementação mais adequada das baterias de lítio de segundo uso. Desta forma, foi desenvolvido o modelo que integra os três métodos distintos para criar uma estratégia de gerenciamento circular de produtos.

Primeiramente, foi realizada uma análise de decisão multicritério com foco espacial para identificar as zonas de destino estratégico (SDZs), que correspondem aos locais com maior concentração de infraestrutura crítica, que podem se beneficiar do armazenamento adicional de energia das baterias. Os resultados dessa abordagem foram então combinados com a análise geoespacial para identificar as rotas mais eficientes para o transporte das baterias de lítio de segundo uso até as SDZs previamente definidas, partindo dos pontos de consolidação onde essas baterias entram no processo de gerenciamento de fim de vida útil.

Posteriormente, utilizou-se uma análise de fluxo de material localizada (MFA) para projetar a quantidade, o tempo e a viabilidade das baterias de lítio em veículos elétricos disponíveis para segundo uso dentro dos limites espaciais do estudo de caso. Cada um dos componentes do modelo retratado anteriormente está representado na Figura 16.

FIGURA 16 - REPRESENTAÇÃO DO MODELO DE PLANEJAMENTO E DISTRIBUIÇÃO CIRCULAR DE RECURSOS



FONTE: Moore *et al.*, (2020).

Os resultados deste estudo de caso mostram que haverá demanda por opções de reutilização das baterias de lítio em veículos elétricos, as quais podem ser planejadas de forma estratégica para cidades que concentram centros populacionais, instalações de energia renovável e infraestrutura crítica.

#### 4.1.2.2 Lähdesmäki *et al.* (2023)

Lähdesmäki *et al.*, (2023) desenvolveram uma análise detalhada sobre a demanda de lítio e a sustentabilidade das reservas deste recurso, fundamental para várias tecnologias emergentes, especialmente em baterias para veículos elétricos e armazenamento de energia.

A pesquisa é estruturada por meio da modelagem dinâmica de sistemas para demonstrar a demanda global de lítio de 2005 a 2050. Outro ponto enfatizado na análise é a adequação das reservas de lítio para a demanda futura, onde é avaliado

se as reservas atuais de lítio são suficientes para atender a essa crescente demanda. Também são retratados as possíveis limitações e impactos ambientais da mineração de lítio.

Além disso, é retratado o conteúdo de lítio em fluxos de resíduos ao longo da cadeia de valor. O estudo investiga o material presente nesses resíduos e as oportunidades para a recuperação do metal, como baterias usadas e outros produtos descartados, o que pode contribuir para aliviar a pressão sobre as reservas de lítio.

Outro ponto abordado na pesquisa é o potencial de várias estratégias circulares para responder à crescente demanda por lítio, explorando diferentes estratégias circulares, como a reciclagem de baterias e o reaproveitamento de lítio a partir de resíduos, como alternativas sustentáveis.

Sendo assim, por meio da modelagem de dinâmica de sistemas, o estudo visa fornecer uma visão integrada e de longo prazo sobre os desafios e soluções para o gerenciamento do lítio, um recurso cada vez mais crucial para a transição energética global e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis. O modelo desenvolvido retrata todas as fases do ciclo de vida do lítio, desde a extração das reservas naturais até o descarte final dos resíduos não recuperáveis. A análise considera os principais usos do lítio, com ênfase nas aplicações em baterias, que são as maiores responsáveis pelo consumo desse recurso.

Nesta pesquisa, as estratégias circulares são analisadas para avaliar seu impacto na demanda por matéria-prima e nos fluxos de resíduos ao longo da cadeia de valor do lítio, considerando o período de 2024 a 2030. As mesmas representam aspectos positivos, ou seja, os melhores cenários para lidar com a crescente demanda por lítio de forma sustentável. O objetivo é verificar como essas práticas circulares, como a reciclagem e a segunda vida das baterias, podem reduzir a pressão sobre as reservas naturais de lítio e melhorar a gestão de resíduos ao longo do tempo. No quadro abaixo é possível observar as estratégias circulares incluídas no modelo.



QUADRO 6 – ESTRATÉGIAS CIRCULARES

| Estratégia circular               | Descrição                                                                                                                                                                                                                     | Parâmetros do modelo                                                                                                                                                                                                                                   |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Linha de base                     | Linha de base sem estratégias circulares implementadas e com químicas de lítio convencionais.                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Utilização de rejeitos            | A eficiência de extração e refino de lítio aumentou com as tecnologias futuras de ~52% para 90%                                                                                                                               | Eficiência de refino de Li, 0,7                                                                                                                                                                                                                        |
| Substituição                      | Substituição de produtos químicos de baterias para incluir menos lítio nos produtos.                                                                                                                                          | O conteúdo de Li diminuiu em 50%                                                                                                                                                                                                                       |
| Extensão de vida                  | A vida útil das baterias dos produtos aumentou em 50% devido aos avanços tecnológicos, etc.                                                                                                                                   | Compartilhe 100%, eficiência 80%                                                                                                                                                                                                                       |
| Reutilizar                        | Baterias BEV reaproveitadas como baterias de armazenamento de energia. A demanda por baterias de armazenamento de energia impulsiona a quantidade de baterias BEV reaproveitadas; o resto vai para o lixo.                    |                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Remanufatura                      | Remanufatura de baterias BEV usadas, para serem usadas como baterias BEV novas.                                                                                                                                               | Compartilhe 100%, eficiência 90%                                                                                                                                                                                                                       |
| Reciclar                          | Todas as baterias (BEV, PHEV, armazenamento de energia e dispositivo de consumo) são recicladas após o uso. Lítio reciclado é inserido como matéria-prima secundária.                                                         | Compartilhar 100%, eficiência 70%                                                                                                                                                                                                                      |
| Estratégias circulares combinadas | Todas as estratégias circulares apresentadas acima foram implementadas. Além disso, as baterias BEV vão para reciclagem. As baterias BEV são primeiro reaproveitadas, as sobras são remanufaturadas e o restante é reciclado. | 1. Reutilizar compartilhamento, máx.<br>2. Compartilhe o restante, deixe de lado o reaproveitamento.<br>3. Recicle, compartilhe, deixe o resto do remanufaturado.<br><br>Utilização de rejeitos, 0,7.<br>Extensão de vida, 50%.<br>Substituição, -50%. |

FONTE: Lähdesmäki et al., (2023).

Os resultados da modelagem indicam que as reservas de lítio podem se esgotar até 2050. Para garantir um fornecimento sustentável de lítio para aplicações essenciais, como baterias de íons de lítio em veículos elétricos, armazenamento de energia em redes e eletrônicos de consumo, é imprescindível adotar estratégias circulares.



#### 4.1.2.3 Wralsen *et al.* (2021)

O objetivo do estudo de Wralsen *et al.*, (2021) é investigar os modelos de negócios circulares, identificando os motivadores, as barreiras e as partes interessadas essenciais para possibilitar a recaptura de valor. Para isso, foi utilizado o método do painel Delphi, que permite a interação com especialistas em baterias de diferentes áreas.

Conforme apontado pelo painel, o principal motivador para a adoção desses modelos são as regulamentações, políticas nacionais e internacionais. A principal barreira identificada é a viabilidade financeira, e as partes interessadas mais críticas são os fabricantes de veículos e governos.

Desta maneira, foram apresentadas sete barreiras ao painel de especialistas e na primeira rodada foi adicionada uma limitação relacionada ao custo de transporte de materiais perigosos, que foi incluída na classificação da segunda rodada. No Quadro 7 é apresentado as barreiras para modelos de negócios circulares, assim como as classificações médias resultantes e os respectivos desvios-padrão.

QUADRO 7 - IMPORTÂNCIA DAS BARREIRAS PARA MODELOS DE NEGÓCIOS CIRCULARES DE BATERIAS DE LÍTIO.

| Barreiras para modelos de negócios circulares | Proposto pelo Painel | Classificação média | Desvio Padrão |
|-----------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Financeiro                                    |                      | 5,42                | 0,65          |
| Tecnologia                                    |                      | 4,92                | 1,19          |
| Falta de padrões técnicos                     |                      | 4,58                | 0,86          |
| Infraestrutura                                |                      | 4,58                | 1,11          |
| Custo de transporte de materiais perigosos X  |                      | 4,50                | 0,87          |
| Mercado                                       |                      | 4,42                | 1,38          |
| Legislação                                    |                      | 4,33                | 1,03          |
| Talento humano                                |                      | 3,42                | 1,32          |
| Sócio-cultural                                |                      | 2,83                | 0,69          |

FONTE: Wralsen et al., (2021).

Durante a segunda rodada, o painel sugeriu a inclusão de duas partes interessadas, sendo os fabricantes de células de bateria e os produtores de matérias-primas e empresas de energia renovável, conforme mostra o Quadro 8.

QUADRO 8 - PARTES INTERESSADAS NA GESTÃO DO FIM DA VIDA ÚTIL DAS BATERIAS DE LÍTIO

| Partes interessadas                                             | Proposto pelo Painel | Classificação média | Desvio Padrão |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| Governos                                                        |                      | 5,77                | 0,42          |
| Fabricantes de automóveis                                       |                      | 5,17                | 0,80          |
| Fabricantes de células de bateria e produtores de matéria-prima | X                    | 5,08                | 1,04          |
| Gestores e recicladores de resíduos                             |                      | 5,08                | 1,04          |
| Centros de pesquisa e universidades                             |                      | 4,42                | 0,95          |
| Fornecedores                                                    |                      | 4,33                | 0,85          |
| Associações e clusters industriais/empresariais                 |                      | 3,92                | 1,26          |
| Instituições                                                    |                      | 3,75                | 1,09          |
| Empresas de energia renovável                                   | X                    | 3,58                | 1,38          |
| Empresas de transporte público                                  |                      | 3,50                | 1,04          |
| Usuários de automóveis e compradores                            |                      | 3,00                | 1,15          |

FONTE: Wralsen et al., (2021).

Portanto, o painel de especialistas contribuiu com seu conhecimento e experiência, destacando aspectos essenciais para abordar a complexidade da economia circular no contexto das baterias de lítio. Esse fenômeno em constante transformação exige clareza, políticas de apoio e estratégias comerciais. Além disso, é necessário ajustar sistemas de gestão de resíduos, incluindo logística e infraestrutura, para viabilizar a recuperação dos materiais das baterias, especialmente com o aumento de seu volume.

#### 4.1.2.4 Análise geral dos estudos

Os autores exploram diferentes pilares que contribuem para a implementação da economia circular. É possível notar que os fundamentos mencionados na literatura correspondem a práticas sustentáveis já conhecidas ou aplicadas.

Observa-se que, embora os conceitos e pilares abordados não mencionem explicitamente a economia circular, a mesma abrange todos os elementos de forma

integrada, potencializando as práticas sustentáveis, como a redução, reutilização, reciclagem e recuperação, promovendo uma abordagem sistêmica que considera todo o ciclo de vida dos produtos e recursos.

A economia circular não se limita à preservação ambiental, mas também incentiva o desenvolvimento de práticas produtivas inovadoras, capazes de tornar os produtos mais rentáveis e duráveis.

Portanto, os estudos apresentados contribuíram significativamente ao explorar estratégias e práticas sustentáveis que integram a economia circular nas baterias de lítio. As análises retrataram questões importantes, como a reciclagem, remanufatura e extensão da vida útil das baterias, fornecendo uma visão abrangente sobre como minimizar impactos ambientais e maximizar a eficiência no uso de recursos. Além disso, ao aplicar algumas ferramentas os autores conseguiram demonstrar de forma estruturada os impactos de diferentes estratégias na demanda global de lítio, oferecendo uma base para políticas e práticas industriais mais sustentáveis.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como objetivo mapear a literatura existente, a fim de identificar pesquisas que abordam o contexto de economia circular para as baterias de lítio em veículos elétricos. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura com artigos publicados entre 2013 e 2023, utilizando as bases de dados periódica da capes, *Scielo* e *Scopus*. A ferramenta *Start* foi empregada no desenvolvimento da revisão, auxiliando na coleta de dados das bases mencionadas e na organização do processo de revisão, devido à sua estrutura com etapas bem definidas, que facilitam a condução da análise.

Em relação ao portfólio de artigos da revisão de literatura, foram selecionados 10 estudos dentre os 177 identificados na primeira fase. A base de dados que mais contribuiu foi o *Scopus*, com 109 artigos, seguida pelo *Scielo*, com 68 estudos. Quanto aos resultados, os anos com o maior número de publicações foram 2020 e 2021, que juntos representaram 70% do total de artigos, evidenciando a relevância atual do tema. Em termos de periódicos, o *Journal Energies* se destacou, com 2 publicações. No que diz respeito à metodologia utilizada nas pesquisas, a revisão de literatura foi a abordagem predominante, adotada por 50% dos estudos.

Por fim, a pesquisa alcançou seu objetivo principal, que é mapear na literatura os modelos de implementação da economia circular aplicados às baterias de lítio em veículos elétricos. Assim como atingiu seus objetivos específicos de (a) identificar os princípios de economia circular na produção de veículos elétricos, (b) identificar os principais métodos de reciclagem e reutilização das baterias de lítio, (c) realizar uma análise sobre o contexto ambiental na reciclagem de baterias de lítio e (d) estabelecer diretrizes de economia circular para o processo de reciclagem das baterias de lítio para veículos elétricos.

Como contribuição, o estudo apresenta um levantamento bibliográfico sobre a economia circular, que favorece a temática em estudo. Todavia há uma limitação nas pesquisas quando envolve a aplicação da economia circular das baterias de lítio em veículos elétricos.

## REFERÊNCIAS

- ACS SUSTAINABLE CHEMISTRY AND ENGINEERING. **2 Year Impact Factor**. 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/journal/ascecg>. Acesso em: 06 dez. 2024.
- ADVANCED ENERGY AND SUSTAINABILITY RESEARCH. **Journal Metrics: Advanced Research In Energy And Sustainability**. 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/26999412/journal-metrics>. Acesso em: 06 dez. 2024.
- AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE. **Veículos em Fim de Vida**. 2021. Disponível em: <https://apambiente.pt/residuos/veiculos-em-fim-de-vida-0>. Acesso em: 01 abr. 2024.
- AGUIAR, A. C; SILVA, K. A; DEIR, S. G. **Resíduos Sólidos – Impactos Ambientais e Inovações Tecnológicas**. 2019. Disponível em: [file:///C:/Users/luppi/Downloads/livro\\_residuosimpactosambientais\\_2019.pdf](file:///C:/Users/luppi/Downloads/livro_residuosimpactosambientais_2019.pdf). Acesso em: 01 abr. 2024.
- AGUIAR, M. F; FRASCARELI, F. C. O; PINHEIRO, M. A. P; DEUS, R. M; JUGEND, D. **Indicadores da Economia Circular e o Desenvolvimento de Produtos Circulares: uma revisão de literatura**. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Marina-Fernandes-Aguiar/publication/346570938\\_Indicadores\\_da\\_Economia\\_Circular\\_e\\_o\\_Developolvimento\\_de\\_Produtos\\_Circulares\\_uma\\_revisao\\_sistemica\\_de\\_literatura/links/5fc7ac8ba6fdcc697bd36dea/Indicadores-da-Economia-Circular-e-o-Desenvolvimento-de-Produtos-Circulares-uma-revisao-sistemica-de-literatura.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Marina-Fernandes-Aguiar/publication/346570938_Indicadores_da_Economia_Circular_e_o_Developolvimento_de_Produtos_Circulares_uma_revisao_sistemica_de_literatura/links/5fc7ac8ba6fdcc697bd36dea/Indicadores-da-Economia-Circular-e-o-Desenvolvimento-de-Produtos-Circulares-uma-revisao-sistemica-de-literatura.pdf). Acesso em: 10 mai. 2024.
- AHUJA, J; DAWSON, L; LEE, R. **A circular economy for electric vehicle batteries: driving the change**. 2020. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/jppel-02-2020-0011/full/html>. Acesso em: 29 nov. 2024.
- ALMEIDA, C. G. **Estudo Comparativo dos Indicadores Existentes de Economia Circular com Perspectiva a Criação de uma Ferramenta de Monitorização Aplicada a Realidade Nacional Portuguesa**. Universidade do Porto, 2020. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/129852/2/427536.pdf>. Acesso em: 11 mai. 2024.
- AMINI, A; RAHMANI, A. **Alcançar o sucesso financeiro através da prossecução de objetivos ambientais e sociais: uma revisão abrangente da literatura e uma agenda de investigação para o investimento sustentável**. Inf. Mundial Tecnologia. Eng. J, 10 (2023).
- ANFAVEA. **Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores**. p.2-2. 2016.
- APPLE INC. **Apple Trade In**. 2019. Acesso em: 13 nov. 2019.

ARANHA, W. M. **Caracterização de Bateria Recarregável de Lítio de Veículos Híbridos Visando Sua Reciclagem**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/18029/1/monopoli10025547.pdf>. Acesso em: 29 mai. 2024.

ATALAINO, M. C. P; MACHADO, T. O; IBIAPINA, H. M. M. A Economia Circular Como Modelo de Desenvolvimento Sustentável. *Revista de Direito, Economia e Desenvolvimento Sustentável*, 2022. Disponível em: <file:///C:/Users/luppi/Downloads/8963-25192-1-PB.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2024.

AZEVEDO, Juliana Laboissière. **A Economia Circular Aplicada no Brasil: uma análise a partir dos instrumentos legais existentes para a logística reversa**. In: Anais. Congresso Nacional de Excelência em Gestão. 2015.

AZEVEDO, M. H. **Veículos Elétricos: viabilidade econômica e ambiental de inserção competitiva no mercado brasileiro**. Universidade Federal de Ouro Preto, 2018. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA\\_VeículosEI%C3%A9tricosViabilidade.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1579/6/MONOGRAFIA_VeículosEI%C3%A9tricosViabilidade.pdf). Acesso em: 08 mai. 2024.

BALDASSIN, P. **E- Cycle ou Economia Circular**. Igui. Disponível em: <https://www.iguiecologia.com/e-cycle-ou-economia-circular/>. Acesso em: 24 mai. 2024.

BARAN, R.; LEGEY, L. F. L. **Veículos elétricos: história e perspectivas no brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 33, p. 207-224, mar. 2011., Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, 2011.

BARKHAUSEN, R; FICK, K; DURAND, A; ROHDE, C. **Analisar a Mudança Política em Direção à Economia Circular Com Base no Exemplo da Legislação da UE Sobre Baterias**. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032123005221#preview-section-references>. Acesso em: 30 mai. 2024.

BARRETO, G. **Veículo elétrico à bateria: contribuições à análise de seu desempenho e seu projeto**. 1986. 360f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BATTERIES AND SUPERCAPS. **Journal Metrics**. 2023. Disponível em: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/journal/25666223/journal-metrics>. Acesso em: 06 dez. 2024.

BENYUS, J. M. (2002). **Biomimicry: innovation inspired by Nature**. Perennial. Disponível em: [file:///C:/Users/luppi/Downloads/biomimicry\\_000.pdf](file:///C:/Users/luppi/Downloads/biomimicry_000.pdf). Acesso em: 25 mar. 2024.

BERKUM, L; DINGERINK, J. **Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries: A Critical Review of Metallurgical Process Routes**. *Metals*, v.10, p.29, ago. 2019.

BOBBA, S; et al. **Como irá a segunda utilização de baterias afetar os stocks e os fluxos na UE? Um modelo para baterias de tração de íons de lítio Resour Conserv Reciclagem** (2019).

BOCKEN, N. M. OLIVETTI, E. A; CULLEN, J. M; POTTING, J; LIFSET, R. **Levando a circularidade para o próximo nível: uma edição especial sobre a economia circular**. Journal of Industrial Ecology. (2016).

BOIRAL, O; GUILLAUMIE, L; SAIZARBITORIA, I. **CV Tayo Tene Adoção e resultados da ISO 14001: uma revisão sistemática Internacional**. J. Gerente. Rev.20 (2018).

BOMBE, K. **Electric Vehicle (EV) Market Worth \$2,495.4 Billion by 2027, Growing at a CAGR of 33.6% From 2021- Exclusive Report by Meticulous Research®**. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/news-release/2021/05/11/2227050/0/en/Electric-Vehicle-EV-Market-Worth-2-495-4-Billion-by-2027-Growing-at-a-CAGR-of-33-6-From-2021-Exclusive-Report-by-Meticulous-Research.html>. Acesso em: 23 mar. 2024.

CANEJO, C. (2021). **Gestão integrada de resíduos sólidos: múltiplas perspectivas para um gerenciamento sustentável e circular** (1ª ed.). Rio de Janeiro: Freitas Bastos.

CAYZER, S; GRIFFITHS, P; BEGHETTO, V. **Design of indicators for measuring product performance in the circular economy**. International Journal of Sustainable Engineering, v. 10, n. 4-5, p. 289-298, 2017.

CE100 BRASIL. **Uma Economia Circular no Brasil: Uma Abordagem Exploratória Inicial**. 2017. Disponível em: [https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil\\_Uma-Exploracao-Inicial.pdf](https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf). Acesso em: 21 mai. 2024.

CHAN, K.H; ANAWATI, J; MALIK, M; AZIMI, G. **Closed-Loop Recycling of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles**. 2021. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.0c06869>. Acesso em: 29 nov. 2024.

**Circular economy implementation in the agricultural sector: Definition, strategies and indicators**

COLAÇO, P. T. **Aplicação da Economia Circular aos Veículos Elétricos** - Faculdade De Engenharia da Universidade do Porto, 2022. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/142605/2/571623.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024.

COLLINS, J; SABZ, F; JORDÂNIA, C. A. **Desafios passados e o futuro da simulação de eventos discretos**. Modelo de Defesa. Simul. (2023).

COMMISSION, E. **The circular economy: Connecting, creating and conserving value**. Publication office of European Commission (2014).

COMMISSION, E. **The circular economy: Connecting, creating and conserving value**. Publication office of European Commission (2019).

CONSELHO EMPRESARIAL MUNDIAL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Indicadores de Transição Circular V 3.0. Métricas para negócios, por negócio**. WBCSD, Genebra, Suíça, 2022. Disponível em: <https://www.wbcsd.org/contentwbc/download/14172/204337/1>. Acesso em: 23 mai. 2024.

COOPER, W. W; SEIFORD, L. M; ZHU, J. **Análise envoltória de dados: história, modelos e interpretações**. Internacional Ser. Operar. Res. Gerenciar (2011).

CURRAN, M. A. **Avaliação do ciclo de vida**. Enciclopédia Kirk - Othmer de Tecnologia Química (2016).

DUNN, J; SLATTERY, M; KENDALL, A; AMBROSE, H; SHEN, S. **Circularity of Lithium-Ion Battery Materials in Electric Vehicles**. 2021. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c07030>. Acesso em: 29 nov. 2024.

EHSANI, M. et al. **Modern electric, hybrid electric, and fuel cell vehicles**. 3ª ed. Flórida: CRC PRESS – Taylor and Francis Group, 2018.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2009. **O Que é Economia Circular?**. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/visao-geral>. Acesso em: 09 mai. 2024.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2015. **Towards a Circular Economy: Business Rationale for an Accelerated Transition**. Ellen MacArthur Foundation: Cowes, Island of Wight, UK. Available: [https://kidv.nl/media/engelse\\_rapporten/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition.pdf?1.2.2-rc.3](https://kidv.nl/media/engelse_rapporten/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition.pdf?1.2.2-rc.3).

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **The circular economy opportunity for urban and industrial innovation in China**. 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/urban-and-industrial-innovation-in-china>. Acesso em: 12 mai. 2024.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy 1: economic and business rationale for an accelerated transition**. Cowes, Isle of Wight: Ellen MacArthur Foundation, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica**. 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 12 mai. 2024.

ENERGIES. **Journal Statistics**. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/journal/energies/stats>. Acesso em: 06 dez. 2024.

ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. **2 Year Impact Factor**. 2023. Disponível em: <https://pubs.acs.org/journal/esthag>. Acesso em: 06 dez. 2024.



EUROPEAN ACADEMIES SCIENCE ADVISORY COUNCIL. **Indicators for a Circular Economy**; EASAC Policy Report 30; European Academies Science Advisory Council: Halle, Germany, 2016.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2014. **Resource-efficient Green Economy and EU policies**. Publications Office of the European Union: Copenhagen, Denmark. Available: <https://www.eea.europa.eu/publications/resourceefficient-green-economy-and-eu/download>.

FANGUEIRO, A. B. F; GUIMARÃES, V. A. **Economia Circular, Mobilidade e Sustentabilidade: Como tais conceitos são Abordados na Literatura Sobre Cidades?**. Simpósio Internacional de Gestão, Projetos, Inovação e Sustentabilidade, 2023. Disponível em: <https://submissao.singep.org.br/11singep/proceedings/arquivos/166.pdf>. Acesso em: 31 mai. 2024.

FERRARA, C; RUFFO, R; QUARTARONE, E; MUSTARELLI, P. **Circular Economy and the Fate of Lithium Batteries: Second Life and Recycling**. 2021. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/aesr.202100047>. Acesso em: 29 de nov. 2024.

FERREIRA, L. A. C. **Transporte e aquecimento global**. Cadernos técnicos: transporte e meio ambiente. vol. 6. São Paulo: ANTP, 2007, p. 27.

FERREIRA, N. **As pesquisas denominadas “estado da arte”**. Educ. Soc, Campinas, v. 23, n. 79, p. 257-272, Aug. 2002.

FERREIRA, V; RIZO, S; LOPEZ, J. **Key Performance Indicators to optimize the environmental performance of Higher Education Institutions with environmental management system—A case study of Universitat Politècnica de València**. Journal of Cleaner Production, v. 178, p. 846- 865, 2018.

FGV ENERGIA. **Veículos Elétricos**. Caderno, 2017. Disponível em: [https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno\\_veiculos\\_eletricos-fgv-book.pdf](https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/caderno_veiculos_eletricos-fgv-book.pdf). Acesso em: 10 mai. 2024.

FILHO, J. A. **Confiança, Comprometimento e Efeito Chicote na Gestão da Cadeia de Suprimentos Automotiva**. Universidade Municipal de São Caetano do Sul, 2011. Disponível em: <https://www.uscs.edu.br/pos-stricto-sensu/arquivo/340>. Acesso em: 07 mai. 2024.

FILHO, L. W; ABUBAKAR, I. R; KOTTER, R; GRINDSTED, T. S; BALOGUN, A; SALVIA, A; AINA, Y. A; WOLF, F. (2021). **Framing Electric Mobility for Urban Sustainability in a Circular Economy Context: An Overview of the Literature**. Sustainability. DOI: 10.3390/su13147786.

FURTADO, J. S. **Baterias Esgotadas: legislação e gestão**. Ministério do Meio Ambiente do Brasil, 2003. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com\\_sisconama&task=documento.download&id=14230](https://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=14230). Acesso em: 30 mai. 2024.

GARZA-REYES, J. A. **Lean and green e a systematic review of the state of the art literature.** *Journal of Cleaner Production*, p. 18-29, 2015.

GENG, Y; FU, J; SARKIS, J; XUE, B. **Towards a national circular economy indicator system in China: an evaluation and critical analysis.** *Journal of Cleaner Production*, 23(1), 216-224, 2012.

GENOVESE, A; ACQUAYE, A. A; FIGUEROA, A; KOH, S. C. L. (2017). **Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications.** *Omega*, 66, 344–357.

GHISELLINI, P; CIALANI, C; ULGIATI, S. **A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems.** *Clean. Prod.*, 114 (2016), pp. 11-32.

GIL, A.C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLMOHAMMADZADEH, R., FARAJI, F., & RASHCHI, F. (2018). **Recovery of lithium and cobalt from spent lithium ion batteries (LIBs) using organic acids as leaching reagents: A review.** *Resources, Conservation and Recycling*, 136, 418-435.

GRAEDEL, T; ALLENBY, B. **Industrial Ecology and Sustainable Engineering** (2009).

GRINDSTED, T. S. (2019). **Hvad er energi-og miljøinnovation.** In: Klimaledelse. Forlaget Andersen, p. 1- 8.

HASHEMNIA, N; ASAEI, B. **Comparative study of using different electric motors in the electric vehicles.** In: 2008 18th International Conference on Electrical Machines. IEEE, 2008. p. 1-5.

HAUPT, M; ZSCHOKKE, M. **How can LCA support the circular economy?—63rd discussion forum on life cycle assessment.** Zurich, Switzerland, November 30, 2017.

HUSAIN, I. **Electric and Hybrid Vehicles: Design fundamentals.** Boca Raton: CRC Press LCC, 2003. 270p.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**, 2019. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/ods/>. Acesso em: 01 abr. 2024.

**Integrando backcasting e Eco-design para a economia circular: o quadro BECE.** *J. Ind.* (2017), pp. 526 – 544.

JABBOUR, A. B; LUIZ. J. V; LUIZ. O. R. **Modelos de negócios de economia circular e gestão de operações.** 2019. Disponível em: [file:///c:/users/luppi/downloads/jabbour2019%20\(1\)%20portugues.pdf](file:///c:/users/luppi/downloads/jabbour2019%20(1)%20portugues.pdf). Acesso em: 06 dez. 2024.

JARI, L; JANNE, H; HARRI, H; PEKKA, B; MATTI, M; PASI, K. **Benefícios do DfX na engenharia de requisitos**. Tecnologia. Investir (2011).

JIN, S., MU, D., LU, Z., LI, R., LIU, Z., WANG, Y., TIAN, S., & DAI, C. (2022). **A comprehensive review on the recycling of spent lithium-ion batteries: Urgent status and technology advances**. Journal of Cleaner Production, 340, 130535.

JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION. **About the journal**. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-cleaner-production>. Acesso em: 06 dez. 2024.

JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. **About The Journal**. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/journal-of-environmental-management>. Acesso em: 06 dez. 2024.

JOURNAL OF PROPERTY, PLANNING AND ENVIRONMENTAL LAW. **Metrics**. 2023. Disponível em: <https://www.citefactor.org/impact-factor/impact-factor-of-journal-of-property-planning-and-environmental-law.html>. Acesso em: 06 dez. 2024.

KASPRZAK, W., LI, D., PATIENCE, G. S., SAURIOL, P., AMARIS, H. V., DOLLE, M., GAUTHIER, M., ROUSSELOT, S., TALEBI-ESFANDARANI, M., BIBIENNE, T., SUN, X., LIU, Y., & LIANG, G. (2017). **Using induction melting to make lithium-ion battery material**. Advanced Materials & Processes, 175(8), 16-23.

KIM, Y; BAE, A. **Tecnologias de reciclagem de lítio a partir de resíduos de baterias de íon de lítio: uma revisão**. 2021.

KIRCHHERR, J; REIKE, D; HEKKERT, M. **Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions Resour. Conserv. Recycl.** 127 (2017), pp. 221-232.

KRISTENSEN, H. S; MOSGAARD, M. A. (2020). **A review of micro level indicators for a circular economy—moving away from the three dimensions of sustainability?**. Journal of Cleaner Production, 243, 118531.

KRISTON, A., KERSYS, A., ANTONELLI, A., RIPPLINGER, S., HOLMSTROM, S., TRISCHLER, S., DÖRING, H., & PFRANG, A. (2020). **Initiation of thermal runaway in Lithium-ion cells by inductive heating**. Journal of Power Sources, 454.

KÜBLER K et al. **Controle de execução assistida por simulação para fabricação de baterias em um ambiente de nuvem**. Piscataway, Nova Jersey; IEEE; 2017.

KWADE, A; et al. **Situação atual e desafios para tecnologias de produção de baterias automotivas**. Energia da Natureza; Vol. 3, ISS. 4; 2018.

LÄHDESMÄKI, S; HANSKI, J; HUTTUNEN-SAAKIVIRTA, E. **Insights into Circular Economy Potential of Lithium by System Dynamic Modelling of Material Streams**. 2023. Disponível em: <https://chemistry-europe.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/batt.202300231>. Acesso em: 29 nov. 2024.

LEITÃO, A. (2015). **Economia circular: uma nova filosofia de gestão para o séc. XXI**. Portuguese Journal of Finance, Management and Accounting, 1(2), 150-171.

Disponível em: [https://ciencia.ucp.pt/ws/files/39919898/114\\_613\\_2\\_PB.pdf](https://ciencia.ucp.pt/ws/files/39919898/114_613_2_PB.pdf). Acesso em: 27 mar. 2024.

LEITE, V. P; DEBONE, D; MIRAGLIA, S. G. **Emissões de GEE no estado de São Paulo: análise do setor de transportes e impactos na saúde**. VITTALLE-Revista de Ciências da Saúde, v. 32, n. 3, p. 143-153, 2020.

LI, W; BAI, H; YIN, J; XU, E. **Life cycle assessment of end-of-life vehicle recycling processes in China—take Corolla taxis for example**. *Journal of Cleaner Production*, v.117, p.176–187, 2018.

LIMA, M.C.C; PONTES, L.P; VASCONCELOS, A.S.M; DE ARAUJO SILVA JUNIOR, W; WU, K. **Economic Aspects for Recycling of Used Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles**. 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/6/2203>. Acesso em: 29 nov. 2024.

LIPOR. **Indicadores de Economia Circular**, 2020. Disponível em: [https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/pt\\_ao/topics/strategy/pdfs/ey-portugal-article-tas-indicadores-de-ec-relatorio-final-2020-04.pdf](https://assets.ey.com/content/dam/ey-sites/ey-com/pt_ao/topics/strategy/pdfs/ey-portugal-article-tas-indicadores-de-ec-relatorio-final-2020-04.pdf). Acesso em: 26 mai. 2024.

LUDD, N. **Apocalipse motorizado: a tirania do automóvel em um planeta poluído**. 2 ed. rev. São Paulo: Conrad Editora do Brasil, 2005, p. 131.

LV, W. *et al.* **Uma revisão e análise crítica sobre a reciclagem de baterias de íons de lítio usadas**. Sustentação ACS. Química. Eng (2021).  
MAKUZA, B; TIAN, Q; GUO, X; CHATTOPADHYAY, K; YU, D.

MALINAUSKAITE, T; et al. **Gestão circular de resíduos de baterias de veículos elétricos: perspectivas jurídicas e técnicas da UE e do Reino Unido pós-Brexit**. *Revista Internacional de Termofluidos* (2021).

MANTEGAZINE, D. Z; BACELOS, M; ANDRADE, G. R. **Reciclagem de Baterias de Íons de Lítio: uma breve revisão sobre os processos, avanços e perspectivas**. 2024. Disponível em: [file:///C:/Users/luppi/Downloads/42817Press\\_Pt3%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/luppi/Downloads/42817Press_Pt3%20(1).pdf). Acesso em: 23 mai. 2024.

MARTÍNEZ, V; VALIO, O; ARNIO, J; REUTER, A; GUERRERO, M. (2019). **A Critical Review of Lithium-Ion Battery Recycling Processes from a Circular Economy Perspective**. *Batteries*, 5(4), 68.

MAVI, N. K; MAVI, R. K. (2019). **Energy and environmental efficiency of OECD countries in the context of the circular economy: Common weight analysis for malmquist productivity index**. *Journal of Environmental Management*, 247, 651–661.

MCCARTHY, B; KAPETANAKI, A. B. **Wang Circular agri-food approaches: will consumers buy novel products made from vegetable waste?**

MEINERSA, J; FROHLICHA, A; DRODERA, K. **Potencial de um Controle de Processos Cruzado Baseado em Aprendizado de Máquina na Produção de Baterias de Íons de Lítio**. *Ciência Direta*, 2022. Disponível em:

file:///C:/Users/luppi/Downloads/1-s2.0-S2212827122012586-main%20(1).pdf.

Acesso em: 30 mai. 2024.

MENDOZA, J. M; SHARMINA, M; SCHMID, A; HEYES, G; AZAPAGIC, A.

MICHELINI, E ; HOSCHELE, P; RATZ, F; STADLBAUER, M; ROM, W; ELLERSDORFER, C; MOSER, J. **Potential and Most Promising Second-Life Applications for Automotive Lithium-Ion Batteries Considering Technical, Economic and Legal Aspects**. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/6/2830>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MOLION, L. C. B. **Aquecimento Global: uma visão crítica**. Revista Brasileira de Climatologia, 2008. Disponível em: file:///C:/Users/luppi/Downloads/25404-92625-1-PB.pdf. Acesso em: 12 mai. 2024.

MOORE, E. A; RUSSELL, J. D; BABBITT, C. W; TOMASZEWSKI, B; CLARK, S.S. **Spatial modeling of a second-use strategy for electric vehicle batteries to improve disaster resilience and circular economy**. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S092134492030207X>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MORAGA, G; HUYSVELD, S; MATHIEUX, F; BLENGINI, G. A; ALAERTS, L; VAN, K; DEWULF, J. (2019). **Circular economy indicators: What do they measure? Resources, Conservation and Recycling**. 146(April), 452–461.

MOREIRA, K. **Desafios na Cadeia Logística de Importação de Produtos Perigosos – Enfoque em Baterias/ Pilhas de Lítio**. Universidade do Sul de Santa Catarina, 2023. Disponível em: file:///C:/Users/luppi/Downloads/TCC21%20final.pdf. Acesso em: 27 mai. 2024.

MOSSALI, E; PICONE, N; GENTILINI, L; RODRIGUEZ, O; PÉREZ, J.M; COLLEDANI, M. **Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments**. 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720304345>. Acesso em: 27 nov. 2024.

MÜLLER, F; KOHLMAYER, R; KRÜGER, D. F; KOSMOL, J; KRAUSE, S; DORER, C; RÖHREICH, M. (2020). **9 principles for a circular economy**. p. 36. Disponível em: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/9-principles-for-a-circular-economy>. Acesso em: 31 mai. 2024.

MUNHOZ, V. J. F; MANUEL, J; MENDOZA, F. M; SANCHEZ, J. A; SCHMID, A. G.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. **The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context**. *Journal of Business Ethics*, v. 140, n. 3, p. 369–380, 2017.

NIERO, M; RIVERA, X. **O papel da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida na implementação dos princípios da economia circular nas organizações**. *Procedia CIRP*, 69 (2018).

NOCE, T. **Estudo do Funcionamento de Veículos Elétricos e Contribuições ao Seu Aperfeiçoamento**. Universidade Católica de Minas Gerais, 2009. Disponível

em: [https://bib.pucminas.br/teses/EngMecanica\\_NoceT\\_1.pdf](https://bib.pucminas.br/teses/EngMecanica_NoceT_1.pdf). Acesso em: 08 mai. 2024.

NORDELÖF. A; MESSAGIE. M; TILLMAN. A. M; SÖDERMAN. M. L; MIERLO. J. V. **Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles what can we learn from life cycle assessment?**, 10 2014, doi. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S11367-014-0788-0/TABLES/6>. Acesso em: 25 mar. 2024.

OECKSLER, C.F; VOLAN, T; VAZ, C.R; MALDONADO, M.U. **Panorama da Cadeia de Suprimentos dos Veículos Elétricos e Híbridos no Brasil**. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2019. Disponível em: [https://abepro.org.br/biblioteca/TN\\_WIC\\_291\\_1640\\_37468.pdf](https://abepro.org.br/biblioteca/TN_WIC_291_1640_37468.pdf). Acesso em: 10 mai. 2024.

OHTSUKA, S. R. **Estudos Sobre os Métodos de Reciclagem e Reutilização de Baterias de Lítio de Veículos Elétricos**, São Paulo, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/16259/Rodrigo%20Seiji%20Ohtsuka.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 26 mar. 2024.

OLIVEIRA, J. V. F; SOUZA, V. D; MELLO. **Veículos Elétricos: Histórias e Seus Benefícios**. Faculdade Tecsona, 2023. Disponível em: <https://www.finom.edu.br/assets/uploads/cursos/categoriasdownloads/files/20230223180253.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2024.

OPOCE, **EUR-Lex - 32000L0053 - PT, Jornal Oficial nº L 269 de 21/10/2000 p. 0034 – 0043**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/oj/direct-access.html?locale=pt>. Acesso em: 25 mar. 2024.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. METAS DA COP26. **Conferência sobre Mudanças Climáticas, Reino Unido**. Disponível em: <https://ukcop26.org/cop26-goals/>. Acesso em: 22 mai. 2024.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **Dez ameaças à saúde que a OMS combaterá em 2019**. OPAS, 2019. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/17-1-2019-dezameacas-saude-que-oms-combatera-em-2019>. Acesso em: 30 mar. 2024.

PACHECO, D. A. J; RAMPASSO, I.S; MICHELS, G. S; ALI, S. M; HUNT, J. D. **Da Economia Linear à Circular: O Papel da BS 8001:2017 para a Transição Verde nas Pequenas Empresas nas Economias em Desenvolvimento**. Revista de Produção Mais Limpa, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652624002348#bib65>. Acesso em: 31 mai. 2024.

PASSOS, E. **Reciclagem de Automóveis**. Monografia (Especialização em Engenharia Automotiva) - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2013.

PAULIUK, S. **Avaliação crítica da norma de economia circular BS 8001:2017 e um painel de indicadores quantitativos do sistema para sua implementação nas organizações**. Recurso, Conservar, Reciclar, 129 (2018).

PINHO, A; SANTOS, G; IBUSUKI, U. **Estudo de Economia Circular Aplicado ao Setor Automotivo**. 2021. Disponível em: [https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN\\_STO\\_362\\_1872\\_41817.pdf](https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_362_1872_41817.pdf). Acesso em: 15 mai. 2024.

PINTÉR, L. (2006). **International Experience in Establishing Indicators for the Circular Economy and Considerations for China. Report for the Environment and Social Development Sector Unit, East Asia and Pacific Region**. Test.lisd.Org, 1–27.

POLLET, B. G; STAFELL I; SHANG, J.L. **Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: From electrochemistry to market prospects**. In: *Electrochimica Acta*, V. 84, p. 235-249, abr 2012.

POMPONI, F; MONCASTER, A. **Circular economy for the built environment: A research framework**. *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 710-718, fev. 2017.

PORTER, M. E. (1986). **Estratégia Competitiva – Técnicas para análise de indústrias e da concorrência**. Rio de Janeiro: Campus. Disponível em: [https://edisdisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5063381/mod\\_resource/content/2/Estrategia\\_Competitiva\\_dos\\_conceitos\\_a\\_i.pdf](https://edisdisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5063381/mod_resource/content/2/Estrategia_Competitiva_dos_conceitos_a_i.pdf). Acesso em: 27 mar. 2024.

PRESTON, F. (2012). **A Global Redesign? Shaping the Circular Economy**. *Energy, Environment and Resource Governance*, (March), 1–20.

PUCHALA, R. **Uma Economia Circular no Brasil: uma abordagem exploratória inicial**. 2017. Disponível em: [https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil\\_Uma-Exploracao-Inicial.pdf](https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/languages/Uma-Economia-Circular-no-Brasil_Uma-Exploracao-Inicial.pdf). Acesso em: 27 mai. 2024.

**Pyrometallurgical options for recycling spent lithium-ion batteries: a comprehensive review**. 2021.

RAMADANI, L; KHANAL, S; BOECKMANN, M. **Mudanças climáticas e saúde na educação escolar: um protocolo de revisão de escopo**. *PLoS ONE*, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0282431>. Acesso em: 30 mar. 2024.

*Resour. Conserv. Recycl.*, 170 (2021).

RESOURCES, CONSERVATION AND RECYCLING. **About the Periodical**. 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/resources-conservation-and-recycling>. Acesso em: 06 dez. 2024.

RICCABONI, A; NERI, E; TROVARELLI, F; PULSELLI, R. M. **Sustainability-oriented research and innovation in ‘farm to fork’ value chains**

RIZOS, V; TUOKKO, K; BEHRENS, A. 2017. **A Economia Circular Uma revisão de definições, processos e impactos**. CEPS. Disponível em: <https://www.ceps.eu/ceps-publications/circular-economy-review-definitions-processes-and-impacts/>. Acesso em: 18 mai. 2024.

ROY, J. J., CAO, B., & MADHAVI, S. (2021). **A review on the recycling of spent lithium-ion batteries (LIBs) by the bioleaching approach**. *Chemosphere*, 282, 130944.

SAIDANI, M. **How to assess product performance in the circular economy? Proposed requirements for the design of a circularity measurement framework**. *Recycling*, v. 2, n. 1, p. 6.

SALES, J. V. P. **Políticas Públicas Fiscais Para a Mitigação dos Impactos Ambientais Causados Pelos Automóveis**. Universidade Federal do Ceará, 2009. Disponível em: [https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/28560/1/2009\\_tcc\\_jvpsales.pdf](https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/28560/1/2009_tcc_jvpsales.pdf). Acesso em: 11 mai. 2024.

SANTOS, A. C; SANTOS, K; JESUS, T. S. **Os Impactos Ambientais e as Mudanças Climáticas – Uma análise das consequências a saúde humana**. Centro Universitário Ages, Paripiranga 2023. Disponível em: <file:///C:/Users/luppi/Downloads/Trabalho%20de%20Conclus%C3%A3o%20de%20Curso..pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SANTOS, L. R. M. **Análise dos Requisitos para Legislação de Veículo Convertido em Elétrico**. Faculdade UnB Gama, 2022. Disponível em: [file:///C:/Users/luppi/Downloads/2022\\_LucasRegisDaMotaSantos\\_tcc.pdf](file:///C:/Users/luppi/Downloads/2022_LucasRegisDaMotaSantos_tcc.pdf). Acesso em: 11 mai. 2024.

SAUVÉ, S; BERNARD, S; SLOAN, P. **Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research**. *Environmental Development*, v. 17, p. 48–56, jan. 2016.

SCARPELLINI, S; GIMENO, J. A; TARRAGONA, P; SASTRESA. E. **Recursos financeiros para investimentos em autoconsumo renovável num quadro de economia circular Sustentabilidade**. (2021), p. 6838.

SCIUBBA, E. **Why emergy- and exergy analysis are non-commensurable methods for the assessment of energy conversion systems**. *Int. J. Exergy*, (2009).

SHARMA, P; et al. **Automobile Waste and Its Management**. *Research Journal of Chemical and Environmental Sciences*, 2016.

SHERWOOD, J. **The significance of biomass in a circular economy**

SILVA, A. K; NADAE, J; NETO, M. B; LIMA, S. **Análise da Produção Científica Sobre Economia Circular e Sustentabilidade** - Universidade Federal da Fronteira do Sul. Disponível em: <file:///C:/Users/luppi/Downloads/11918-Texto%20do%20artigo-54998-1-10-20230823.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2024.

SILVA, E.L.; MENEZES, E.M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação**. 4.ed, Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2005.



STEWART, T. J; DURBACH, I. **Lidando com incertezas no MCDA**. S. Greco , M. Ehrgott , J. Figueira (Eds.) , Multiple Criteria Decision Analysis , International Series in Operations Research & Management Science, 233, Springer, Nova York, NY (2016).

TANG, M; ALBERTUS, P; NEWMAN, J. **Modelagem bidimensional da deposição de lítio durante o carregamento da célula**. J. Eletroquímica. Soc. 156; 2009.

THE SCANIA REPORT. **Annual and Sustainability Report**, 2018.

TOYOTA MOTOR CORPORATION. **Sustainability Data Book**, 2018.

UNITED NATIONS. **Handbook of National Accounting: Integrated Environmental and Economic Accounting**, 2003. United Nations: New York, NY, USA, 2003. Available online: <https://unstats.un.org/unsd/EconStatKB/Attachment60.aspx?AttachmentType=1>.

USÓN, A; TARRAGONA, P; SCARPELLINI, S; MACARULLA, F. **A adoção progressiva de uma economia circular pelas empresas para uma produção mais limpa: uma abordagem a partir de um estudo regional em Espanha**. J. Limpo. Prod. (2020), Artigo 119648.

VIER, M.B; SCHREIBER, D; FROELICH, C; JAHNO, V. D. **Reflexões Sobre a Economia Circular**, 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/luppi/Downloads/2206-Texto%20do%20Artigo-5715-1-10-20211001.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2024.

WEELDEN, E. V; MUGGE, R; BAKKER. C. **Paving the way towards circular consumption: exploring consumer acceptance of refurbished mobile phones in the Dutch market**. Clean. Prod., 113 (2016), pp. 743 754, 10.1016/j.jclepro.2015.11.065.

WEI, G., LIU, Y., JIAO, B., CHANG, N., WU, M., LIU, G., LIN, X., WENG, X. F., CHEN, J., ZHANG, L., ZHU, C., WANG, G., XU, P., DI, J., & LI, Q. (2023). **Direct recycling of spent Li-ion batteries: Challenges and opportunities toward practical applications**.

WESTERMEIER, M; REINHART, G; ZEILINGER, T. **Método para parâmetro de qualidade identificação e classificação no planejamento da qualidade da produção de células de bateria de cadeias produtivas complexas de células de bateria**. 3º Int. Conferência de Produção de Drives Elétricos; IEEE, Piscataway, NJ; 2013.

WORLD ECONOMIC FORUM. **Towards the Circular Economy: Accelerating the scale-up across global supply chains**, 2014.

WRALSEN, B; PRIETO-SANDOVAL, V; MEJIA-VILLA, A; OBORN, R; HELLSTROM, M; FAESSLER, B. **Circular business models for lithium-ion batteries - Stakeholders, barriers, and drivers**. 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621026068>. Acesso em: 29 nov. 2024.

ZANIRATO, S. H; ROTONDARO, T. **Consumo, um dos dilemas da sustentabilidade. Estudos Avançados**, v. 30, n. 88, p. 77–92, dez. 2016. ZHOU, K., et al. A study on circular economy implementation in China. Working Papers, Department of Research, Ipag Business School. 2014.