

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

REGIANE CRISTINA TESSEDOR

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E ECODESIGN DA BATERIA DE LÍTIO EM
VEÍCULOS ELÉTRICOS: REVISÃO DA LITERATURA

JANDAIA DO SUL

2024

REGIANE CRISTINA TESSEADOR

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E ECODESIGN DA BATERIA DE LÍTIO EM
VEÍCULOS ELÉTRICOS: REVISÃO DA 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 requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

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

Tessedor, Regiane Cristina

Avaliação do ciclo de vida e ecodesign da bateria de lítio em veículos elétricos: revisão de literatura. / Regiane Cristina Tessedor. – 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. Impactos ambientais. 2. Revisão de literatura. 3. Veículos elétricos. 4. Avaliação do ciclo de vida. 5. Gases de efeito estufa.
I. Canchumani, Giancarlo Alfonso Lovón. II. Universidade Federal do Paraná. III. Título.

CDD 658.4



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 129/2025/UFPR/R/JA/CCEP
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: REGIANE CRISTINA TESSEADOR

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA E ECODESIGN DA BATERIA DE LÍTIO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS: REVISÃO DA LITERATURA

Autor(a): REGIANE CRISTINA TESSEADOR

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

THAYS VALERIANO DE OLIVEIRA



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 **THAYS VALERIANO DE OLIVEIRA, Usuário Externo**, em 17/01/2025, às 16:20, 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 10:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **7430199** e o código CRC **5E7EDC2F**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente à Deus por me guiar, me dar forças e sabedoria ao longo de toda essa jornada acadêmica.

À minha família, por todo apoio, amor e compreensão durante toda a minha trajetória, em especial aos meus pais Osvaldo Tessedor e Cleonice Tessedor, a minha irmã, Cristiane Tessedor e ao meu namorado, Jhonatas Matias.

Aos meus amigos, que estiveram ao meu lado durante toda a caminhada. Agradeço pelo apoio, pela amizade e pelos momentos de descontração que tornaram essa jornada mais leve.

Ao meu orientador Dr. Giancarlo Alfonso Lovón Canchumani, agradeço a paciência, ensinamentos e dedicação ao longo da realização desse trabalho.

A todos os professores da UFPR que compartilharam seus conhecimentos e contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico, serei eternamente grata.

A todos, o meu muito obrigada!

RESUMO

Atualmente, as mudanças climáticas são uma das maiores preocupações para o meio ambiente e o setor de transporte é responsável por uma parcela significativa das emissões de gases de efeito estufa. Como alternativa, estudos apontam uma expectativa de crescimento no volume mundial por veículos elétricos visto que são considerados menos poluentes comparados com os veículos à combustão, no entanto, surgem questões preocupantes em relação ao ciclo de vida das baterias de lítio as mesmas que são utilizadas nos veículos elétricos. Desse modo, o objetivo desse estudo é analisar as relações das ferramentas da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) e ecodesign para diminuir os impactos ambientais da produção de baterias de lítio em veículos elétricos através de uma revisão de literatura. A metodologia utilizada é uma Revisão de Literatura, considerando o levantamento bibliográfico dos artigos publicados entre o período de 2014 a 2024 realizado por meio do software StArt. A revisão de literatura resultou na identificação de sete estudos, os quais foram analisados de forma qualitativa e quantitativa. O método de pesquisa mais utilizado foi estudo experimental com 57% dos trabalhos. Na sequência foram selecionados três estudos, sendo dois estudos de casos e um estudo experimental, permitindo um aprofundamento maior. Esses estudos basearam-se em ferramentas de gestão ambiental. O resultado da revisão de literatura contribuiu de maneira relevante para os estudos a respeito da ACV e ecodesign que vai de encontro as baterias de lítio utilizada em veículos elétricos.

Palavras-chave: Impactos Ambientais. Revisão de Literatura. Veículos Elétricos. Avaliação do Ciclo de Vida. Gases de Efeito Estufa.

ABSTRACT

Currently, climate change is one of the greatest environmental concerns, and the transportation sector accounts for a significant share of greenhouse gas emissions. As an alternative, studies indicate an expected global increase in the demand for electric vehicles, as they are considered less polluting compared to combustion vehicles. However, concerning issues arise regarding the life cycle of lithium batteries, which are widely used in electric vehicles. Thus, the objective of this study is to analyze the relationship between Life Cycle Assessment (LCA) and ecodesign tools in reducing the environmental impacts of lithium battery production for electric vehicles through a literature review. The methodology employed was a Literature Review, considering a bibliographic survey of articles published between 2014 and 2024 using the StArt software. The literature review identified seven studies, which were analyzed qualitatively and quantitatively. The most commonly used research method was experimental studies, accounting for 57% of the works. Subsequently, three studies were selected for further analysis: two case studies and one experimental study, allowing for a deeper understanding. These studies were based on environmental management tools. The results of the literature review made a significant contribution to the studies on LCA and ecodesign, aligning with the analysis of lithium batteries used in electric vehicles.

Keywords: Environmental Impacts. Literature Review. Electric Vehicles. Life Cycle Assessment. Greenhouse Gases.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	18
FIGURA 2 – CICLO DE VIDA DO PRODUTO NA PERSPECTIVA DE MERCADO ..	19
FIGURA 3 – EXEMPLO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL	26
FIGURA 4 – FASES DE UMA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	28
FIGURA 5 – BENEFÍCIOS DO ECODESIGN	31
FIGURA 6 – RESERVAS MUNDIAIS DE LÍTIO DISTRIBUÍDAS POR PAÍS	33
FIGURA 7 – RESUMO DA RECICLAGEM DE BATERIAS DE LÍTIO	35
FIGURA 8 – PLANEJAMENTO DA PESQUISA.....	38
FIGURA 9 – RESULTADO DA BUSCA NAS BASES DE DADOS.....	40
FIGURA 10 – FASES DA PESQUISA.....	41
FIGURA 11 – MODELO DAS FASES DA FERRAMENTA START	42
FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES	45
FIGURA 13 – PALAVRAS-CHAVE MAIS UTILIZADAS	47
FIGURA 14 – CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS QUANTO AO MÉTODO DE PESQUISA.....	47
FIGURA 15 – CONTRIBUIÇÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS DO CICLO DE VIDA DO PROJETO IDENTIFICADOS PARA BATERIAS LFP E NMC	50
FIGURA 16 – VISÃO AMBIENTAL PARA AS TECNOLOGIAS DE BATERIAS LFP E NMC.....	51
FIGURA 17 – UMA ESTRUTURA DE OTIMIZAÇÃO PARA ECODESIGN E BATERIAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS	53
FIGURA 18 – RESULTADO DE OTIMIZAÇÃO DE ESQUEMAS DE PROJETO PARA ECODESIGN	54
FIGURA 19 – ESTRUTURA DO MODELO QUE INTEGRA UM MODELO DE ENVELHECIMENTO DENTRO DO ACV	55
FIGURA 20 – PERDA DE CAPACIDADE DA BATERIA DE LÍTIO DURANTE 20 ANOS.....	56

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – ARTIGOS RESULTANTES DA REVISÃO DE LITERATURA.....	44
QUADRO 2 – PERIÓDICO DAS PUBLICAÇÕES.....	46
QUADRO 3 – FATOR DE IMPACTO DOS PERIÓDICOS	46
QUADRO 4 – CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS RESULTANTES DA REVISÃO DE LITERATURA	48

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ACV - Avaliação do Ciclo de Vida

AICV - Análise de Inventário de Ciclo de Vida

GEE - Gases de Efeito Estufa

ODS - Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

ONU - Organização das Nações Unidas

PDP - Processo de Desenvolvimento de Produtos

SGA - Sistema de Gestão Ambiental

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	13
1.3 JUSTIFICATIVA	14
1.4 OBJETIVOS	15
1.4.1 Objetivo geral	15
1.4.1.1 Objetivos específicos	15
1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 PROJETO DO PRODUTO	17
2.1.1 Design e desenvolvimento do produto	17
2.1.2 Relação do Ciclo de Vida	19
2.2 FERRAMENTAS DE RELAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL	20
2.2.1 Princípios de Gestão Ambiental	20
2.2.2 ISO 14000	21
2.2.3 Ecoeficiência	22
2.2.4 Ecologia industrial	23
2.2.5 Simbiose industrial	24
2.2.6 Economia circular	26
2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	27
2.3.1 Fundamentos	27
2.3.2 ACV ao setor automotivo	29
2.3.3 Aplicações de ACV	29
2.4 ECODESIGN	30
2.4.1 Princípios	30
2.4.2 Diretrizes	31
2.4.3 Modelo de Ecodesign ao setor automotivo	32
2.5 CADEIA PRODUTIVA DA BATERIA DE LÍTIO	33
2.5.1 Lítio	33
2.5.2 Impactos ambientais	34
2.5.3 Reciclagem	35
2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO	36
3 MÉTODOS DE PESQUISA	38
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	38
3.2 PROCEDIMENTO PARA REVISÃO DA LITERATURA	39
3.3 PROTOCOLO DA PESQUISA	40

3.3.1 Planejamento da pesquisa.....	40
3.3.2 Coleta, tabulação e análise dos dados	42
4 RESULTADOS.....	44
4.1 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE ACV E ECODESIGN DAS BATERIAS DE LÍTIO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS	45
4.1.1 Análise quantitativa sobre os estudos.....	45
4.1.2 Análise do conteúdo das pesquisas em relação ao ACV e ecodesign	48
4.1.2.1 Zwolinski <i>et al.</i> (2019).....	49
4.1.2.2 Zhang <i>et al.</i> (2020)	52
4.1.2.3 Lavisse <i>et al.</i> (2023)	54
4.1.3 Análise geral dos estudos	57
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A transição da economia linear para a economia circular é um conceito importante na busca por modelos econômicos mais sustentáveis, minimizando a geração de impactos ambientais. Devido a abordagem do descarte inadequado dos resíduos após o consumo, Gonçalves; Barroso, (2019) define a economia linear como insustentável, pois tem o poder de causar a degradação ambiental.

Em meio a este contexto dos impactos ambientais surge as indústrias de bateria de lítio, essencial para a movimentação dos veículos elétricos, no entanto apresenta diversos impactos ambientais no decorrer de sua fabricação como, a emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE) na atmosfera, principalmente de dióxido de carbono, poluição do solo, a extração de matérias primas sendo lítio, cobalto, níquel e grafite, entre outros (Ohtsuka, 2022).

Segundo a Ipea (2018), para favorecer as atividades sustentáveis, pode-se utilizar a abordagem da Agenda 2030, na qual os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) representam ser o ponto central, instruindo as ações em três dimensões, econômica, social e ambiental. Constan 17 metas que indicam os caminhos a serem percorridos e parâmetros a serem seguidos, sendo indicadores fundamentais para garantir a coordenação e o monitoramento das melhorias dos países em relação ao alcance dos objetivos por parte da ONU (Organizações das Nações Unidas).

Considerando os impactos ambientais que as indústrias produzem é importante ressaltar o modelo circular no qual tem o intuito em diminuir os problemas destacados. Segundo Luz (2017), a economia circular procura otimizar os materiais, prolongando a vida útil dos produtos e restringindo a utilização de recursos não renováveis.

A fim de promover práticas mais sustentáveis nas indústrias é apresentado algumas ferramentas como a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), uma metodologia que avalia os impactos ambientais de um produto ao longo do seu ciclo de vida. De acordo com Sebrae; ONU (2017), companhias certificam que por meio desta ferramenta conseguem calcular os poluentes que são emitidos.

A ecoeficiência, uma ferramenta que promove a inovação, o uso de materiais renováveis e a redução das emissões de gases de efeito estufa, visa minimizar os

impactos ambientais, sem comprometer a qualidade. Para Venzke (2000), a escolha dos parâmetros ambientais é importante para estipular padrões quantitativos que serão de controle para os objetivos ambientais propostos.

Outra metodologia importante, o ecodesign busca diminuir os impactos ambientais, reduzir custos de produção e proporcionar as empresas um diferencial no mercado dando destaque para o desenvolvimento sustentável (Vilaça, 2010).

Devido ao aumento no consumo de automóveis, o setor automobilístico está gerando uma diversidade de impactos ambientais (Peña *et al.*, 2014) entre eles o descarte dos resíduos no final de sua vida útil. Em termos de emissões de GEE, o setor de transportes a combustão é o segundo maior poluidor do meio ambiente (Howell, 2024).

Diante do contexto abordado, o estudo pretende avaliar as relações das ferramentas da ACV e ecodesign para evidenciar os impactos ambientais da produção de baterias de lítio em veículos elétricos, ferramentas que auxiliam desde a extração de matérias primas até a reciclagem do produto.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com Bombe (2021), o volume mundial por veículos elétricos de maneira alternativa aos veículos movidos a combustíveis fósseis como o petróleo, apresenta expectativa de crescimento significativo nos próximos anos, causado principalmente por regulamentações governamentais, preocupações ambientais e investimentos de montadoras. Apesar dos benefícios ambientais auxiliar na redução de emissões dos gases de efeito estufa, os veículos elétricos quando adquiridos e utilizados em larga escala, surgem com questões relativas ao ciclo de vida das baterias de lítio, despertando preocupações significativas aos impactos ambientais. (Aguiar *et al.*, 2019)

O problema central para esta pesquisa é compreender a avaliação do ciclo de vida das baterias de lítio utilizadas em veículos elétricos, considerando todas as etapas de produção, uso do produto, reciclagem e reutilização.

Para Medina (2005), os impactos ambientais não surgem apenas quando os produtos chegam na fase do consumo, e sim a origem dos problemas aparecem na fase de elaboração do projeto, desenvolvimento dos produtos e na fabricação dos materiais.

Outro problema presente para este trabalho é avaliar o conceito de ecodesign para a bateria de lítio, observando pontos cruciais, assegurando que o produto seja criado de maneira ciente e preservando a qualidade em todas as etapas, desde matéria-prima até o descarte final dessa bateria.

De acordo com Vilaça (2010), o ecodesign busca minimizar os impactos ambientais sem comprometer os custos de produção e as limitações de tempo para a sua fabricação, fazendo com que as empresas possuam um diferencial competitivo dentro do mercado dando destaque ao desenvolvimento sustentável.

Diante dos problemas citados, a presente pesquisa busca analisar de maneira crítica os estudos apontados sobre a ACV e do Ecodesign das baterias de lítio em veículos elétricos, visando identificar oportunidades que contribua para o desenvolvimento de estratégias e orientações promovendo a sustentabilidade, economia circular das baterias de lítio, tornando mais limpa e sustentável.

1.3 JUSTIFICATIVA

Para Medina (2008) o sistema de projeto e produção de um produto também causa impactos diretos e indiretos na economia do país e na vida das pessoas e não só o produto visual. A ACV permite realizar uma análise abrangente dos impactos ambientais das baterias de lítio, considerando todas as fases do seu ciclo de vida. Feito esta análise é possível identificar as oportunidades de melhoria e os pontos críticos para o desenvolvimento das baterias.

Segundo Venzke (2000), o ecodesign deve integrar-se desde a análise das exigências do cliente e os requisitos do produto até a certeza de que todos as condições foram atendidas para que assim possa alcançar o seu objetivo. No caso das baterias de lítio, o ecodesign pode orientar a escolha de materiais mais sustentáveis e a facilitação do processo de reciclagem, reduzindo assim o impacto ambiental da bateria.

O estudo vai de encontro com os 17 objetivos, das ODS 2030 (Objetivos de Desenvolvimento Sustentável), especificamente com os objetivos e metas para alcançar o desenvolvimento sustentável, destacando-se a importância do objetivo 9, abordando a indústria, inovação e infraestrutura e o objetivo 12 no qual apresenta o consumo sustentável e a produção responsáveis (Ipea, 2018).

A pesquisa a ser desenvolvida busca por soluções mais sustentáveis e ao mesmo tempo eficiente para a bateria de lítio. Nesse cenário, existem ferramentas essenciais como a ACV e o Ecodesign, para avaliar e melhorar o desempenho ambiental dessas baterias de lítio desde o planejamento de fabricação até o seu descarte final (Langer, 2011).

1.4 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados o objetivo geral e os objetivos específicos que irão compor o desenvolvimento deste trabalho.

1.4.1 Objetivo geral

Analisar as relações das ferramentas da avaliação do ciclo de vida e ecodesign para diminuir os impactos ambientais da produção de baterias de lítio em veículos elétricos através de uma revisão de literatura.

1.4.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para esta pesquisa:

- a) Analisar os principais impactos ambientais associados as fases do ciclo de vida das baterias de lítio, desde a extração de matérias-primas até o descarte final;
- b) Identificar as práticas de ecodesign aplicadas nos veículos elétricos;
- c) Identificar os métodos da Avaliação do Ciclo de Vida na fase da reciclagem da bateria de lítio.

1.5 APRESENTAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em cinco capítulos: Introdução, Revisão Bibliográfica, Método de Pesquisa, Apresentação dos Resultados e Considerações Finais.

Capítulo 1: Apresenta a contextualização do tema de pesquisa, bem como o problema de pesquisa e a justificativa. São elaborados o objetivo geral e os objetivos específicos, ambos devem ser alcançados ao longo do trabalho.

Capítulo 2: Abordagem do referencial teórico que compõe o desenvolvimento do trabalho. Serão tratadas as relações das ferramentas da Avaliação do Ciclo de Vida e do Ecodesign das baterias de lítio.

Capítulo 3: Expõe as ações metodológicas que serão aplicadas no decorrer da pesquisa, visando alcançar os objetivos do presente trabalho.

Capítulo 4: Serão apresentados os resultados obtidos a partir da realização das etapas anteriores.

Capítulo 5: Abordagem dos principais resultados encontrados através da pesquisa realizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo tem como objetivo, expor os conceitos fundamentais para a compreensão do tema em estudo. A revisão bibliográfica está dividida em cinco subcapítulos principais, sendo eles: projeto do produto, ferramentas de relação de impacto ambiental, avaliação do ciclo de vida, ecodesign e por fim a cadeia produtiva da bateria de lítio.

2.1 PROJETO DO PRODUTO

Neste tópico será abordado alguns princípios fundamentais baseados em pesquisas bibliográficas, relacionados ao design e desenvolvimento do produto e a relação do ciclo de vida do produto.

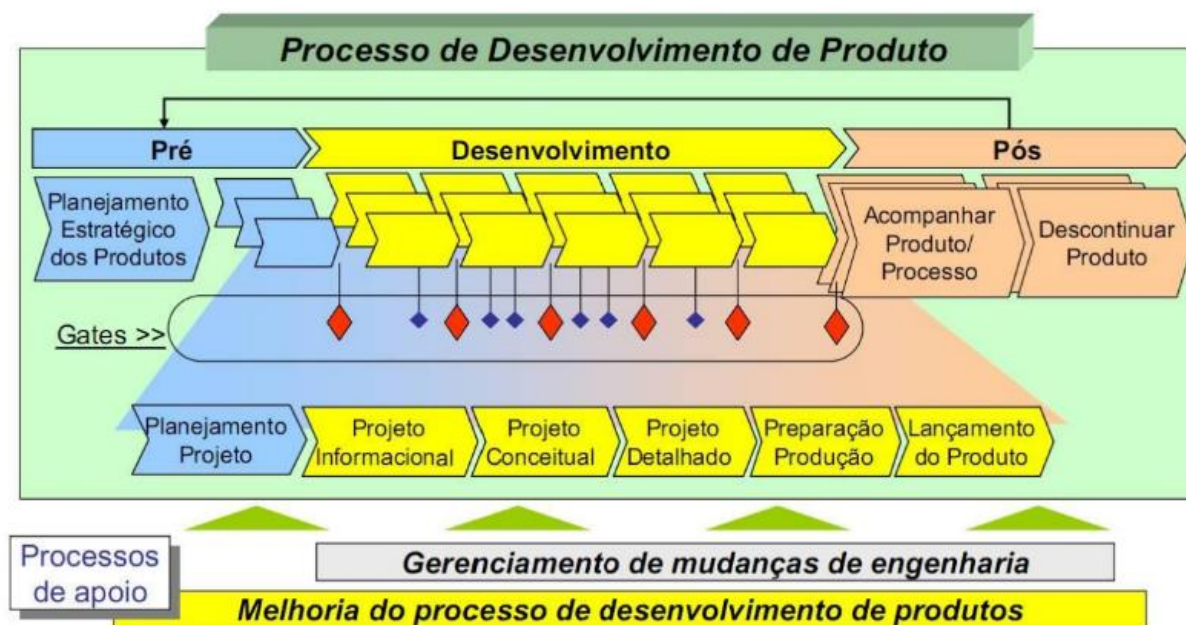
2.1.1 Design e desenvolvimento do produto

Segundo Ulrich; Eppinger (2000), o processo de desenvolvimento do produto (PDP) é a junção de atividades interdisciplinares no qual uma organização transforma as oportunidades de mercado e as alternativas tecnológicas em informações valiosas para a criação de um produto, passando pelo planejamento, concepção, desenvolvimento do conceito, projeto do sistema, projeto detalhado, teste, refinamento e produção-piloto. A maneira de como são conduzidas essas informações, alinhando-se a estratégias, estrutura organizacional e a gestão do processo, influencia diretamente no sucesso da empresa ao lançar o produto no mercado.

A criação de produto novos, de maneira rápida veio a ser prioridade em diversas empresas que se aceleram para comercializar tecnologias e para satisfazer as expectativas dos clientes (Filippini; Salmaso; Tassarolo, 2004). É uma tarefa estratégica e desafiadora para as empresas, gerando uma certa competição entre os mercados, pois enfrentam uma pressão constante em lançar produtos que sejam inovadores e de alta qualidade.

Conforme Rozenfeld *et al.*, (2006) o projeto e desenvolvimento do produto possui três Macro Fases: Pré Desenvolvimento, Desenvolvimento e Pós-Desenvolvimento, como mostra a Figura 1. A geração de ideia de um novo produto até o lançamento do mesmo no mercado acontece em cinco etapas principais.

FIGURA 1 – PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO



FONTE: Rozenfeld et al. (2006).

O desenvolvimento do produto inicia-se no projeto informacional, onde é especificado os requisitos do produto planejado. Após isso, vem a etapa de projeto conceitual, no qual são realizadas as descrições das funções que o produto irá apresentar, além disso é exposto as soluções possíveis e finaliza pela busca pela estética do produto. Na fase de projeto detalhado são realizados os testes necessários, como também os projetos de embalagem, além disso os processos de fabricação do produto são planejados e a documentação necessária é providenciada, incluindo a homologação do produto. Essa fase possui três ciclos: detalhamento para criar sistemas, aquisição para o desenvolvimento de fornecedores e otimização para avaliar e documentar os processos e produto. A quarta etapa consiste na preparação do produto onde são realizados manuais do produto e instruções para a assistência técnica. É nesta etapa que acontece a produção de um protótipo, ou seja, uma versão inicial do produto. E por fim ocorre o lançamento do produto onde é documentado as melhores práticas, estrutura-se as atividades de comercialização do produto, incluindo vendas, logística de distribuição, atendimento e assistência técnica, feito isso o produto é lançado ao mercado (Sales, 2010).

Seguindo o contexto, de acordo com Burdek (2005), o design de um produto é consequência de um processo de desenvolvimento. A técnica de design é um

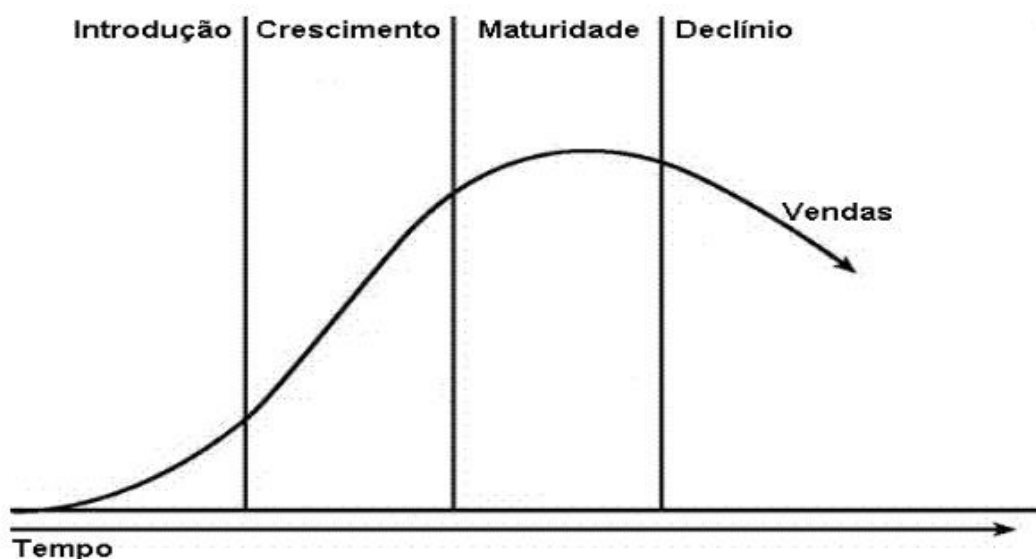
procedimento criativo e de identidade que descreva a empresa e seus clientes, auxiliando para resultados de problemas de gestão. O designer analisa as necessidades e restrições contínuas como pontos estratégicos para mudanças nas empresas (Mozota, 2003).

O Design não é mais visto como apenas um resultado relacionado à forma, mas como um processo criativo de gestão que pode ser integrado em outros processos da organização, como gestão de ideias, de inovação e de pesquisa e de desenvolvimento, e que modifica a estrutura tradicional do gerenciamento de processos em uma empresa. O design relaciona-se com questões fundamentais de gestão da inovação e com o sucesso do desenvolvimento de novos produtos (DNP) (Mozota, 2003, p.145).

2.1.2 Relação do Ciclo de Vida

Após divulgar e lançar um produto no mercado, a empresa responsável cria uma expectativa de vida útil longa e produtiva. (Romeiro *et al.*, 2010 e Kotler; Armstrong, 2007). No entanto, sabem que o ciclo de vida terá que percorrer quatro estágios, sendo: introdução, crescimento, maturidade e declínio, como mostra o Figura 2. Neste contexto, na visão de Boone; Kurtz (2009), é impossível indicar o período de duração de cada estágio, visto que existe produtos que passam de forma mais lenta e outros de modo mais ágil.

FIGURA 2 – CICLO DE VIDA DO PRODUTO NA PERSPECTIVA DE MERCADO



FONTE: Romeiro *et al.* (2007).

Segundo Romeiro *et al.*, (2010) os estágios são definidos como:

- Estágio de introdução: Um produto novo é lançado ao mercado, com isso as vendas se desenvolvem lentamente, pois os clientes estão conhecendo e identificando quais são os benefícios de adquirir esse novo produto.
- Estágio de crescimento: Os lucros começam a crescer, visto que o produto obteve uma boa aceitação no mercado. Essa etapa traz consigo os desafios, incluindo a gestão da demanda e de competição, uma vez que o crescimento das vendas e dos lucros atrai os concorrentes para o mercado.
- Estágio de maturidade: Fase de pouco crescimento nas vendas. Os lucros permanecem estáveis ou reduzem devido aos gastos necessários para a empresa proteger o produto da concorrência.
- Estágio de declínio: As vendas e os lucros começam a cair pois o produto deixa de chamar a atenção dos clientes.

2.2 FERRAMENTAS DE RELAÇÃO DE IMPACTO AMBIENTAL

Neste tópico, com apoio das definições encontradas na literatura será abordado algumas ferramentas que vem de encontro com a relação do impacto ambiental.

2.2.1 Princípios de Gestão Ambiental

Segundo Barbieri (2016), gestão ambiental é o meio de administrar e organizar o conjunto de normas utilizadas pelas organizações, visando prevenir, minimizar ou corrigir os impactos ambientais gerados pela mesma em suas atividades, como meio para obter objetivos ambientais positivos. Para o desenvolvimento econômico, os recursos naturais são essenciais (Alves; Leão 2019).

Seguindo esse contexto, de acordo com Fortunski (2008) um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é um método de gestão organizado que busca auxiliar, implementar e coordenar a política ambiental. Para definir os objetivos e políticas são colocadas medidas como o planejamento de práticas e procedimentos e a divisão de responsabilidade. Na concepção de Miranda *et al.*, (2019) a gestão ambiental tem a seguinte definição:

Gestão ambiental é um sistema de administração empresarial que dá ênfase na sustentabilidade. Desta forma, a gestão ambiental visa o uso de práticas e métodos administrativos que reduzem ao máximo o impacto ambiental das atividades econômicas nos recursos da natureza (Miranda *et al.*, 2019, p.5).

Conforme Dias (2017), o sistema de gestão ambiental precisa cumprir algumas condições para garantir que as atividades humanas sejam realizadas de forma sustentável e consequentemente minimizando os impactos ambientais:

- Política ambiental: Na gestão ambiental é fundamental que a alta administração estabeleça uma política ambiental para a organização, adequada às características de suas atividades.
- Planejamento: Definir e manter procedimentos para identificar os elementos ambientais de suas atividades é fundamental, juntamente com a implementação de um programa de gestão ambiental para alcançar seus objetivos. Esses processos devem ser documentados e aplicados em cada função importante da organização.
- Implementação e Operação: A estrutura organizacional, juntamente com a conscientização, treinamentos e competências do sistema de gestão ambiental, os controles operacionais desempenham um papel crucial para a identificação das atividades e operações relacionadas aos elementos ambientais, conforme estabelecido com a política e metas ambientais.
- Verificação e Ação Corretiva: Por meio do monitoramento e medição dos aspectos principais de suas operações e atividades com impacto ambiental, juntamente com a implementação de ações corretivas e preventivas, sendo assim a auditoria do sistema de gestão ambiental é essencial para a manutenção e para identificar eventuais não conformidades.
- Revisão pela gerência: Deve verificar o sistema de gestão ambiental de forma crítica, de modo a garantir sua convivência, adequação e eficácia contínua. Essa verificação deve apresentar as eventuais exigências de alterações na política.

2.2.2 ISO 14000

Desenvolvida pela International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normalização), a ISO 14000 é um conjunto de normas que estabelecem diretrizes, certificações e padrões para comércios e serviços, tem como finalidade um Sistema de Gestão Ambiental que visa auxiliar empresas a minimizar

os impactos ambientais de suas operações, buscando promover a sustentabilidade. Segundo Valle (1995), quando os responsáveis pelos impactos ambientais não assumem os problemas, quem terá que arcar com os mesmos será a sociedade em geral.

De acordo com Ribeiro (1998), a evolução de valores, da mentalidade e do comportamento diante ao meio ambiente são questões indispensáveis para a humanidade, onde a restrição é determinada pela influência do consumismo e dos valores materialistas sobre os recursos naturais. O cuidado com o meio ambiente é além do uso da tecnologia e ciência, torna-se uma questão de sobrevivência.

Para Ehlke (2003), a implantação de um SGA, é uma das práticas mais comuns para iniciar uma gestão ambiental, visando a certificação. Esse procedimento é orientado através das normas internacionais ISO 14000, na qual busca atingir três principais objetivos como, permitir uma abordagem comum para a gestão ambiental dos produtos, melhorar a capacidade das empresas em alcançar e medir seu desempenho ambiental e beneficiar o comércio ao reduzir os obstáculos relacionados a preocupações ecológicas. A ISO 14000 é uma família de normas que buscam determinar ferramentas e sistemas para o controle ambiental de uma organização (Dias, 2006).

Com o intuito de uniformizar as ações que deveriam se encaixar em uma nova ótica de proteção ao meio ambiente, a ISO – International Organization for Standardization (Organização Internacional para Normalização) – decidiu criar um sistema de normas que convencionou designar pelo código ISO 14000. Esta série de normas trata basicamente da gestão ambiental e não deve ser confundida com um conjunto de normas técnicas. (Valle, 1995, p.54).

Segundo Cajazeira (1998), a ISO 14001 é a única norma que possui certificação, na qual define os critérios para implementar, manter e melhorar constantemente os requisitos básicos de um sistema de gestão ambiental nas empresas. De acordo com a ABNT (2004) essa norma é aplicável a todo tipo e porte de empresa, ajustando a proteção ambiental.

2.2.3 Ecoeficiência

Para Riberio; Vellani (2009), a ecoeficiência é um processo que encaminha investimentos e desenvolve técnicas para estabelecer valor aos acionistas, gerando benefícios econômicos, diminuindo o desperdício, poluição e minimizando o

consumo de recursos. É organizada em três fundamentos: econômico, ambiental e social, sendo assim, se a empresa é economicamente benéfica, ambientalmente adaptável e socialmente justa, pode ser conceituada ecoeficiente, além disso estará ampliando as oportunidades de permanência no mercado (Nascimento, 2000).

Na visão de Alves *et al.*, (2009), a aplicação de medidas ecoeficientes nas empresas não gera grandes custos financeiro, pois o alcance de melhorias ambientais podem ser adquiridos com mudanças simples nos procedimentos dentro das organizações. Dessa maneira, a ecoeficiência representa gerar mais produtos e serviços minimizando o uso de recursos e reduzindo da geração de poluentes e resíduos (Vilela e Demajorovic, 2006).

É crucial para as empresas manterem em mente a capacidade de renovação dos recursos naturais, pois a exploração predatória resulta no esgotamento da matéria-prima, tornando insustentável o próprio negócio (Barbiere, 2007). Portanto, a gestão ecoeficiente busca otimizar o uso dos recursos, priorizando o reuso e a reciclagem, garantindo a sustentabilidade a longo prazo. De acordo com Almeida:

a ecoeficiência é uma filosofia de gestão empresarial que incorpora a gestão ambiental. Pode ser considerada uma forma de responsabilidade ambiental corporativa. Encoraja as empresas de qualquer setor, porte e localização geográfica a se tornarem mais competitiva, inovadoras e ambientalmente responsáveis. (Almeida, 2002, p.101).

O conceito de ecoeficiência é alcançado ao oferecer serviços e preços competitivos, de modo que satisfaçam as exigências humanas e melhorem a qualidade de vida, e em contrapartida, reduzam gradualmente o impacto ambiental e a intensidade da utilização de recursos ao longo do ciclo de vida (Dias, 2006).

2.2.4 Ecologia industrial

Segundo Trevisan *et al.* (2016) as organizações industriais estão diretamente relacionadas ao contexto social, econômico, cultural e político nas quais estão inseridas, dessa forma sentem-se pressionadas a atender as exigências da sociedade, buscando se renovar, adotando práticas que refletem as tendências e inovações aos seus respectivos setores produtivos.

À medida que as pesquisas sobre os impactos ambientais causados pela fabricação convencional avança, aumenta a pressão da sociedade por políticas de produção mais sustentáveis. É nesse contexto que surgem os princípios da Ecologia

Industrial, que inspirados na natureza, buscam promover práticas de produção mais limpa. De acordo com Silva; Oliveira (2018) os procedimentos produtivos que são pouco eficientes e com irregularidades na gestão de resíduos sólidos, são assuntos que têm levado as discussões referentes aos padrões convencionais de produção.

Para Roberts (2004), a especialidade da ecologia industrial é a definição de novos usos e métodos inovadores para os resíduos. Desse modo, tem como objetivo transformar os resíduos em produtos reutilizáveis. Além do mais, a ecologia industrial pode ser considerada como uma análise para o desenvolvimento e design de produtos. (Jelinski *et al.*, 1992).

Conforme Silva; Oliveira (2018), a ecologia industrial é apresentada como método para conquistar a sustentabilidade no ambiente industrial, através da ecoeficiência na produção e no gerenciamento dos resíduos. Gonzales (2009) trás a definição de ecologia industrial de maneira mais estratégica:

Permite um vislumbre do médio e longo prazo, através da evolução de padrões de produção e consumo voltados para a preservação dos recursos naturais visando o impacto negativo sobre o ambiente, enquanto há chances de vantagens econômicas para as empresas, permitindo-lhes favorecer devido à concorrência imposta por um mundo globalizado. (Gonzales, 2009, p. 250).

A ecologia industrial apresenta uma perspectiva confiante, com capacidade para reduzir as operações da sociedade sobre o ambiente, compreendendo teoria e prática para implantação do desenvolvimento sustentável (Deutz, 2009). Na Ecologia Industrial, destaca-se o conceito da Simbiose Industrial, que prioriza as relações entre empresas e utiliza as interações entre diferentes organizações como uma forma de promover uma produção mais sustentável.

2.2.5 Simbiose industrial

A Simbiose Industrial baseia-se nos princípios das relações observadas na natureza, assim como a Ecologia Industrial. A simbiose se fundamenta na interação entre organismos diferentes, nos quais estabelecem trocas visando beneficiar ambos. No contexto industrial, essa definição é referente ao conjunto de itens para trocas, abrangendo materiais e serviços diferentes que procuram aumentar as vantagens, em relação as permutas que seriam trabalhadas individualmente. De acordo com Trevisan *et al.* (2016), para um sistema ser nomeado como simbiótico

deve ser formado por três empresas no mínimo, que estabelecem a troca de dois recursos, geralmente resíduos.

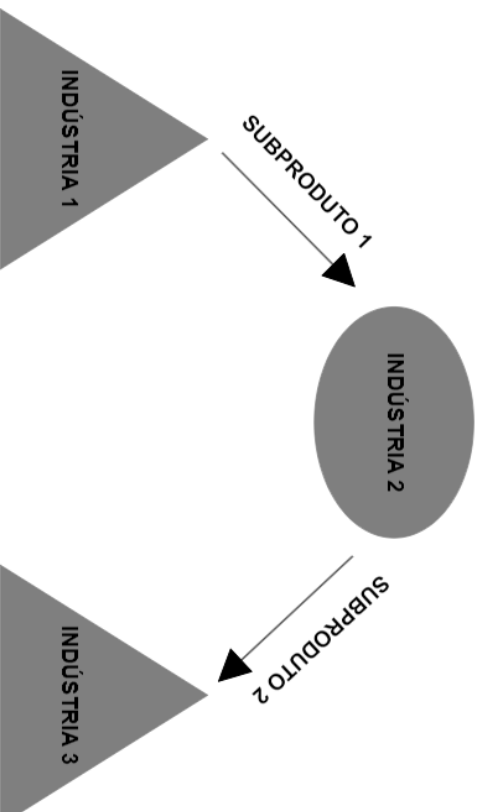
Conforme Ntasiou; Andreou (2017), a aplicação da simbiose nas empresas apresenta benefícios como a redução de custos e aos danos ao meio ambiente. Outras vantagens resultantes na adoção da simbiose é o processo de tomada de decisão de outras empresas e o acesso ao conhecimento tecnológico, ou seja, adquirir habilidades e informações relacionadas à tecnologia. (Zhu; Ruth, 2014).

O conceito da simbiose industrial, é uma área chave da ecologia industrial, que tem se propagado em diversas regiões do mundo como uma prática capaz de mitigar o impacto ambiental dos procedimentos industriais (Boons *et al.*, 2017). É melhor aplicada em distritos industriais, considerando que a proximidade é um dos parâmetros para a existência da simbiose (Chertow, 2000). Além do mais, a localização geográfica é um motivo para o cálculo para a transação comercial, pois com a distância, os custos de transporte também se elevam (Lombardi; Laybourn, 2012).

Para Boons *et al.*, (2011), a Simbiose industrial é melhor caracterizada como um processo, no qual essas atividades são ajustadas pelo contexto cognitivo, cultural, político e estrutural em que estão colocadas (Baas, 2008).

Existe algumas condições para que as relações simbióticas não sejam trocadas com outros tipos de troca de materiais, assegurando o reconhecimento de relações complexas em vez de simples trocas diretas. A simbiose industrial só é identificada quando no mínimo três empresas fazem trocas de pelo menos dois tipos de resíduos diferentes para ser reaproveitados, como mostra a Figura 3 (Chertow, 2007). Além disso, a reciclagem não pode ser identificada como troca, os tipos de troca que devem ser aceitas para a simbiose industrial são as reutilizações de resíduos como matéria-prima e o compartilhamento de serviços.

FIGURA 3 – EXEMPLO DE SIMBIOSE INDUSTRIAL



FONTE: Adaptado de Guimarães (2015).

2.2.6 Economia Circular

Conforme a fundação Ellen MacArthur (2015) e Leião (2015), os recursos materiais empregados na produção são limitados e enfrentam ameaças devido ao modelo de negócio linear, o que resulta no encarecimento e instabilidade dos preços no mercado, com isso surgiu-se um novo modelo econômico, a economia circular. Essa abordagem propõe uma nova forma de utilizar matérias-primas e energia, visando reduzir o desperdício e promover a sustentabilidade. O conceito de economia circular para a fundação de Ellen MacArthur (2012) diz:

Economia circular é um sistema industrial restaurativo ou regenerativo por intenção e design. Ele substitui o conceito de 'fim de vida' por restauração, muda para o uso de energia renovável, elimina o uso de produtos químicos tóxicos que prejudicam a reutilização e visa a eliminação de resíduos através do design superior de materiais, produtos, sistemas e, dentro disso, modelos de negócios. (MacArthur, 2012, p.7).

A definição de economia circular propõe a preservação do valor dos recursos extraídos e produzidos através da implementação de cadeias produtivas integradas, mantendo esses recursos em circulação. Segundo Webster (2015), o destino de um material faz parte do desenvolvimento de design de produtos e sistemas, assim, deixa de ser uma questão de gerenciamento de resíduos. Nesse contexto, com o propósito de aumentar a eficiência do uso de materiais, para garantir um melhor equilíbrio entre o meio ambiente, economia e a sociedade.

De acordo com Luz (2017), a economia circular busca ampliar a vida útil dos produtos durante e após o seu uso, propondo um aumento na circulação dos resíduos por meio da reutilização, seja para o mesmo seguimento de produtos ou para reaproveitamento em outras organizações.

O modelo circular de um produto se inicia muito antes de sua concepção, e não apenas na fase de descarte do produto. Devido à ausência de resíduos no final da produção, os materiais que não podem ser reutilizados são descartados antes mesmo no início do processo, dando lugar aos materiais biológicos não tóxicos que podem ser introduzido novamente na natureza proporcionando benefícios ao solo, sem causar danos ao meio ambiente. (Ellen MacArthur Foundation, 2012).

2.3 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

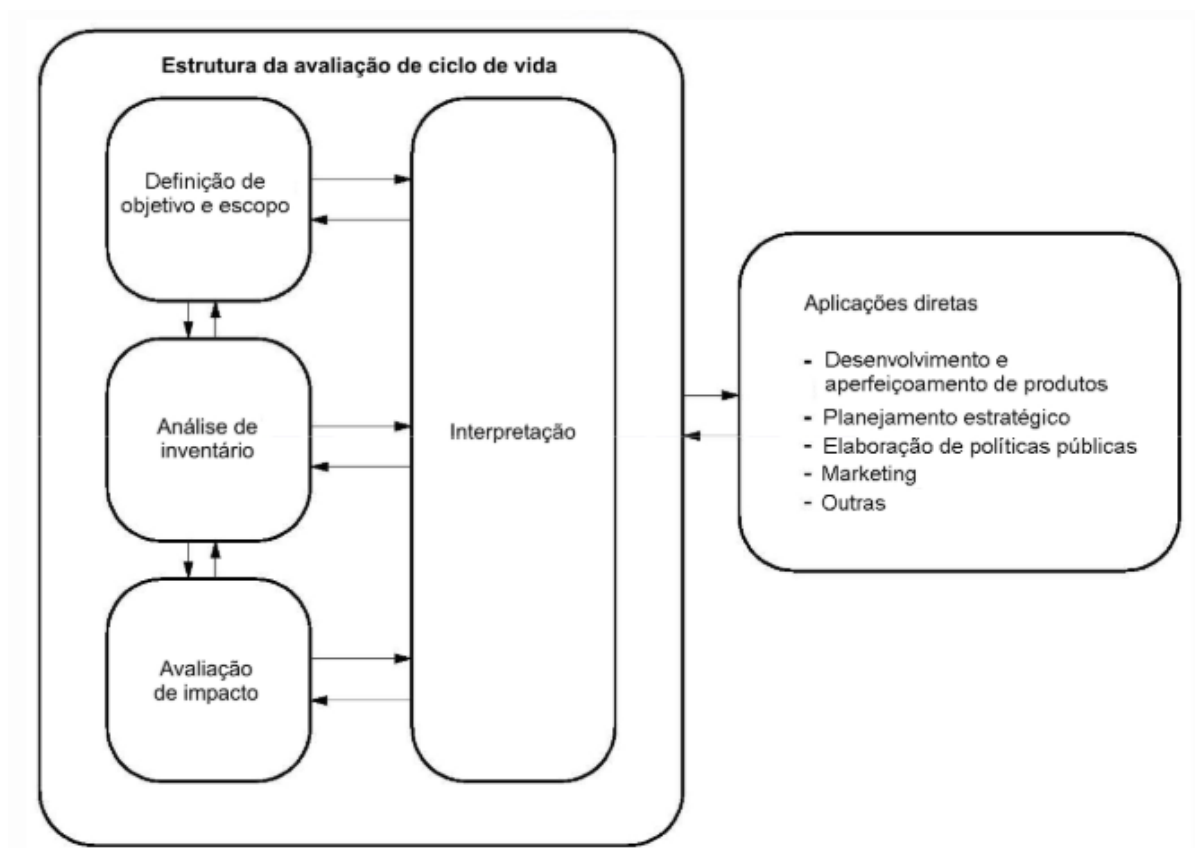
Neste tópico serão apresentados alguns conceitos sobre a Avaliação do Ciclo de Vida, será abordado os seus fundamentos, ACV ao setor automobilístico e exemplo de aplicações de ACV, por meio de pesquisas bibliográficas.

2.3.1 Fundamentos

Segundo Oliveria *et al.*, (2021), a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que permite avaliar possíveis impactos ambientais de processos, perante a perspectiva do ciclo de vida de um produto. De acordo com Sebrae; ONU (2017) uma organização é capaz de quantificar os poluentes que emite através da ACV.

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (2009) – ABNT, a ACV enfatiza os impactos e os aspectos ambientais no decorrer de todo o ciclo de vida de um serviço ou produto, ou seja, desde a extração das matérias-primas, desenvolvimento, uso, reciclagem, até o descarte final, isto é: do berço ao túmulo. A série de normas NBR ISO 14000 – Gestão Ambiental, dispõe o conjunto de normas presentes na NBR ISO 14040 na qual se referem a Avaliação do Ciclo de Vida para orientar cada uma de suas fases. Uma análise de ACV é construída por quatro etapas, como mostra a Figura 4.

FIGURA 4 – FASES DE UMA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA



FONTE: ABNT (2009).

Definição de objetivo e escopo: É a primeira fase de uma ACV, nesta etapa diversos aspectos são definidos. Segundo Kloppfer; Grahl (2014), a organização que delega a ACV deve apresentar uma explicação para três questões, como: O que se espera atingir com o estudo? Qual a importância para o desenvolvimento da pesquisa? Para quem será esta análise? Para Saade (2017), a explicação dessas perguntas garante que o estudo seja bem orientado, com isso, será possível evitar o consumo de tempo desnecessário e resultados irrelevantes.

De acordo com a ABNT NBR ISO 14044 (2009) com relação ao escopo, ainda presente na primeira fase de um estudo de ACV, é importante ter alguns tópicos principais: definição do propósito do estudo, o resultado esperado, as fronteiras do sistema do produto, ou seja, determinar quais processos irão fazer parte do estudo, unidade funcional que é definida como desempenho avaliado de um sistema de produto como o objetivo de ser usado como referência de um estudo de ACV e as limitações dele.

Análise de inventário: A análise de inventário de ciclo de vida (AICV), envolve o levantamento dos dados (fluxo de materiais, produtos ou energia). Conforme a ABNT NBR 14044 (2009), nesta fase abrange a quantificação das entradas e saídas do sistema em estudo.

Avaliação de impactos: Nesta fase da ACV, os dados do inventário são relacionados com tipos de impactos e com os aspectos identificados, dessa forma, busca-se quantificar e qualificar esses impactos (Saade, 2017).

Interpretação: Os resultados são resumidos e estudados, com base no objetivo e escopo definido no início, para gerar conclusões, recomendações e decisões. (ABNT NBR 14044, 2009).

2.3.2 ACV ao setor automotivo

A avaliação do ciclo de vida no setor automotivo desempenha um papel essencial na busca por soluções mais sustentáveis ao longo de toda a cadeia de produção dos veículos, desde a extração de matérias-primas até o descarte final. Segundo Forster (2015), as indústrias automobilísticas investem em altas tecnologias para os carros devido aos problemas ambientais, uma opção para resolver esse problema são os carros elétricos, conhecidos também como “carros do futuro”, que fazem o uso das baterias de lítio.

Conforme Nieuwenhuis; Beresford; Choi, (2012) o dióxido de carbono (CO₂) é um dos principais causadores do aquecimento global. Ainda nesse contexto, Gunther; Kannegiesser; Autenrieb, (2015) afirma que os carros elétricos são considerados como alternativa para diversos problemas ambientais resultantes da indústria automotiva.

De acordo com Larson *et al.*, (2014) um dos fatores que dificultam a escolha de adquirir carros elétricos é o alto valor pelos quais são comercializados. Porém, para Hahnel *et al.*, (2014), o valor dos veículos elétricos diminuirá gradativamente, assim que a ideia se popularizar na sociedade, permitindo que novas pessoas possam obter esses veículos, dessa forma a emissão de gases na atmosfera é reduzida.

2.3.3 Aplicação da ACV

De acordo com Assis (2009), pode-se aplicar a ACV a diversos produtos, considerando os requisitos de cada um deles. Um exemplo de aplicação bastante

conhecido é o da Coca-Cola, no qual foi alterado toda a linha de produção de latas e garrafas. Houve uma redução de 26 mil toneladas de gás carbônico com a mudança nas garrafas de vidro (Fabi *et al.*, 2004).

A ACV também foi aplicada para analisar o impacto de sacolas plásticas de supermercado. Diversos estudos consentem que as sacolas reutilizáveis são uma opção mais sustentável, visto que 1 sacola reutilizável equivale a 125 sacolas plásticas, e também auxilia na redução do consumo de matéria-prima. As sacolas de papel também foram avaliadas, visto que possuem elevado impacto energético e de contaminação para o meio ambiente devido aos efluentes gerados no processo de fabricação da sacola. Outras desvantagens do papel é a baixa durabilidade do material e taxa de degradação maior que o plástico, pois se for exposto no aterro causa um maior impacto ambiental. O estudo realizado por Tough (2007) concluiu que as sacolas convencionais e as sacolas de papel oferecem riscos ao meio ambiente igualmente.

2.4 ECODESIGN

Nesta seção será apresentado os princípios de ecodesign, no qual aborda preocupações ambientais no processo de design de produtos, visando reduzir os impactos ambientais, as diretrizes como forma de orientação para minimizar os prejuízos causados no meio ambiente, e o exemplo de aplicação de ecodesign voltada para o setor automotivo.

2.4.1 Princípios

De acordo com a ISO 14006 (2011, p.2) o Ecodesign é definido como “a integração dos aspectos ambientais no projeto e desenvolvimento de produtos, com o objetivo de reduzir os impactos ambientais adversos ao longo do ciclo de vida de um produto”. Além de minimizar esses impactos, para Vilaça (2010) o ecodesign tende a reduzir custos de fabricação, permitindo que as organizações tenham um diferencial no mercado já que o mesmo eleva a importância ao desenvolvimento sustentável a cada dia, assumindo um papel essencial, uma vez que a extração de matérias-primas vem se decaindo rapidamente. Dessa forma, o desenvolvimento de produtos relacionados ao ecodesign garantem o mínimo de impacto ao meio

ambiente (Júnior; Lima, 2015), apresentando vários benefícios ao meio ambiente, conforme mostra a Figura 5.

FIGURA 5 – BENEFÍCIOS DO ECODESIGN



FONTE: Be The Story (2024).

Conforme Ferreira; João; Godoy (2008), destaca-se que as tendências globais exigem que os fornecedores coloquem ações de respeito ao meio ambiente como um requisito importante no projeto de seus produtos e serviços, visto que os consumidores busca adquirir produtos que tenha menor impacto ao meio ambiente.

2.4.2 Diretrizes

Segundo Pazmino (2007), o ecodesign pode causar competição no mercado após gerar um produto que apresente o mínimo de impacto ambiental, tanto na sua produção quanto em seu uso. A autora definiu algumas diretrizes em seu artigo “Uma reflexão sobre o Design Social, Eco Design e Design Sustentável” para alcançar os processos de ecodesign, dentre elas estão:

- Usar materiais não prejudiciais;

- Usar materiais reciclados, recicláveis e renováveis;
- Usar um material apenas;
- Codificar os materiais para facilitar a sua identificação;
- Escolha de técnicas de produção alternativas;
- Diminuir os processos produtivos;
- Pouca geração de resíduos;
- Redução da variabilidade dos produtos;
- Reduzir o consumo de energia
- Utilizar tecnologias apropriadas e limpas;
- Redução de peso e volume;
- Aumentar a confiabilidade e durabilidade;
- Entre outros.

Ainda neste contexto, o ecodesign não é produzido através da reciclagem de materiais ou sucatas e sim por um processo de desenvolvimento que leva em consideração principalmente o fator ambiental ao longo do ciclo de vida do produto, de modo a minimizar o impacto ao meio ambiente (Pazmino, 2007).

2.4.3 Modelo de Ecodesign ao setor automotivo

As inovações de ecodesign nas indústrias automobilísticas estão ficando cada vez mais importante no decorrer do desenvolvimento e produção de veículos. A utilização de materiais sustentáveis estão sendo valorizados pelas montadoras, visto que os custos são menores e facilita o reaproveitamento dos resíduos (Rocha, 2021).

A aplicação de inovações sustentáveis estão presentes no setor automotivo. A marca Mercedes-Benz, utiliza fibra de coco para desenvolver os encostos dos carros com um produto biodegradável, resistente à umidade, durabilidade e elasticidade. Segundo Dias (2013), as marcas Volkswagen, Ford e Fiat também faz a utilização dos componentes sustentáveis em suas produções.

De acordo com Guia Quatro Rodas (2016), existem outras inovações de ecodesign no setor automotivo, como o uso de vidro reciclado na produção de lanternas de veículos. Essas práticas demonstram um compromisso crescente das montadoras com a sustentabilidade e a eficiência ambiental.

2.5 CADEIA PRODUTIVA DA BATERIA DE LÍTIO

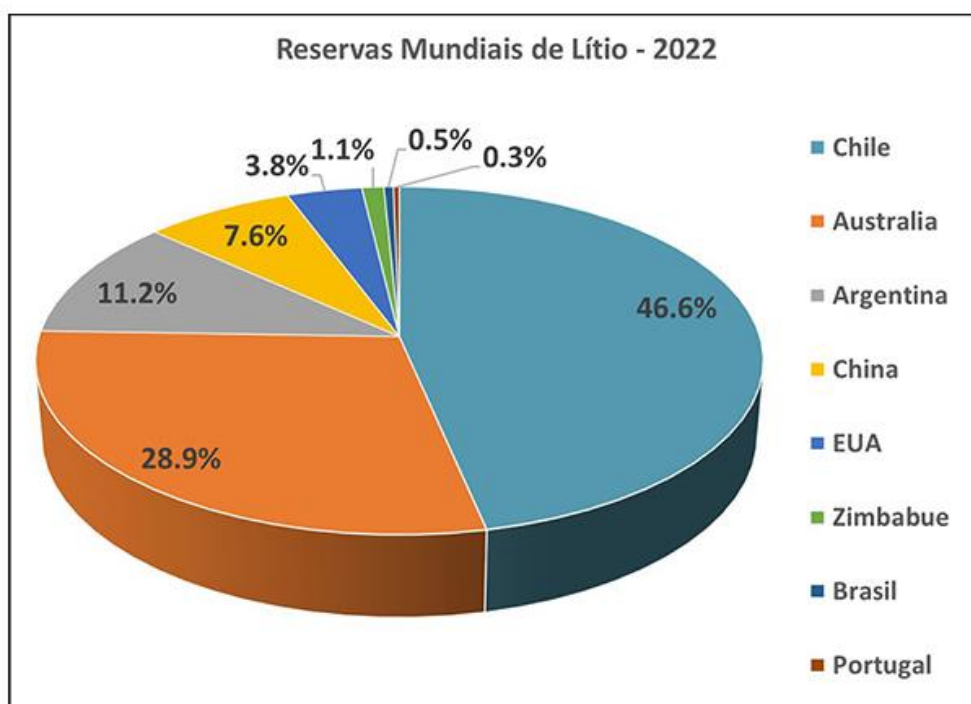
O presente tópico apresentará mais detalhes em relação a bateria de lítio, será abordado o elemento Lítio, quais os possíveis impactos ambientais que a bateria de lítio provoca para o meio ambiente e por fim, meios de reciclagem, sendo: hidrometalurgia e pirometalurgia.

2.5.1 Lítio

Segundo Lopes (2019), o lítio é considerado um elemento escasso na crosta terrestre e geralmente não se encontra na natureza na forma metálica, mas sim em uma variedade de minérios, como em salmouras e rochas conhecidas como pegmatitos (são rochas de composição principalmente graníticas).

As maiores reservas de lítio são localizadas principalmente no Chile, Austrália, Argentina e China. De acordo com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), as reservas mundiais de lítio em 2022 totalizavam cerca de 26 milhões de toneladas.

FIGURA 6 – RESERVAS MUNDIAIS DE LÍTIO DISTRIBUÍDAS POR PAÍS



FONTE: USGS (2022).

No ponto de vista de Castelvechi (2021), não é fácil realizar estimativas sobre o volume de lítio que estará disponível futuramente, pois depende de vários

fatores, como o aumento de veículos elétricos, reciclagem, reutilização de baterias, criação de novas tecnologias de mineração, entre outros. Além disso, há o "Triângulo do Lítio" na América Latina no qual refere-se a uma região geográfica que abrange partes da Argentina, Bolívia e Chile, onde estão localizadas as maiores reservas globais de lítio, concentrando cerca de 53% do total mundial (USGS, 2024). O lítio é extraído principalmente de salmouras em desertos de sal como o Salar de Uyuni (Bolívia), Salar de Atacama (Chile) e Salar de Hombre Muerto (Argentina). A governança do recurso varia entre os países, com abordagens nacionalistas ou parcerias privadas.

Ainda neste contexto, existem preocupações em relação aos impactos da mineração para fauna e flora, geração de resíduos e sobre a possibilidade de faltar água a longo prazo, visto que as extrações a partir das salmouras são feitas em regiões áridas e o procedimento requer uma quantidade elevada de água (Flexer; Baspineiro, Galli, 2018). E em relação às rochas pegmatitos é considerado o alto gasto energético para obtenção do lítio (Castelvecchi, 2021).

2.5.2 Impactos ambientais

Conforme Delgado (2017), os veículos elétricos são meios de transporte conhecidos como "zero emissões", pois durante o seu uso, não liberam praticamente nada de gases poluentes para o aquecimento global. Porém, apesar dos veículos elétricos serem considerados limpos, é preciso verificar outros possíveis impactos ambientais.

Como citado no decorrer desse estudo, há uma expectativa crescente do volume de vendas dos veículos elétricos, com isso a demanda por baterias de lítio cresce de maneira exponencial. Dessa maneira, também será gerado um aumento no número de resíduos que precisarão ser retirados dos veículos elétricos. Para Zhu *et al.*, (2021) as baterias de lítio podem causar contaminação do meio ambiente e perigo de combustão, dessa forma, são vistas como resíduos tóxicos por provocar problemas para descartá-las.

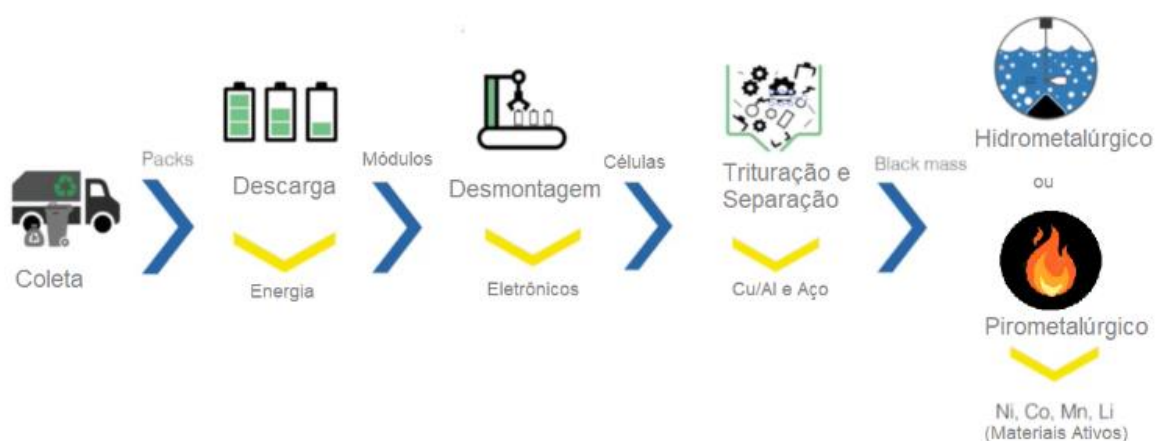
Os impactos ambientais podem ocorrer de várias maneiras, prejudicando a água, solo e o ar, seja direta ou indiretamente. De acordo com Pereira (2022) os impactos são difíceis de serem medidos para ter uma estimativa exata, visto que os problemas relacionados ao meio ambiente têm pouca atenção.

2.5.3 Reciclagem

A reciclagem é uma das alternativas para as baterias de lítio que chegaram ao fim da sua vida útil. Segundo Skeete *et al.*, (2020) há alguns métodos de reciclagem de baterias, sendo os principais: hidrometalurgia e pirometalurgia no qual são processos com foco principal em recuperar os metais presentes nos cátodos que possuem um valor mais alto. A restauração desses metais auxilia na redução dos impactos ambientais e sociais.

Em geral, os processos de reciclagem são divididos inicialmente em cinco etapas, sendo elas: coleta, descarga, desmontagem, trituração e separação. Em seguida, o produto é encaminhado para um dos processos de restauração, como mostra a Figura 7.

FIGURA 7 – RESUMO DA RECICLAGEM DE BATERIAS DE LÍTIO



FONTE: Adaptado de Liu; Lollo (2020).

De acordo com Urias (2017), o procedimento de reciclagem conhecido como Hidrometalurgia envolve o uso de soluções aquosas para desfazer as partes da bateria, extrair os metais valiosos e recupera-lo, sem precisar de altas temperaturas. Para iniciar esse processo é importante realizar um tratamento inicial nas baterias de lítio, de forma manual (Prazanová; Knap; Stroe, 2022 e Bruckner; Frank; Elwert, 2020). O objetivo do tratamento inicial é de separar os materiais recicláveis dos materiais que não são recicláveis, como as resinas, coletores de corrente e a carcaça da bateria.

Para Mossali *et al.*, (2020) o processo de reciclagem da hidrometalurgia apresenta ser bastante eficiente em recuperar o lítio e outros materiais existentes nos cátodos; pelo fato dos processos ser realizados em temperaturas baixas há um

baixo nível de consumo energético. Porém precisam realizar tratamentos iniciais antes do processo; consumo alto no volume de água e a incapacidade de reciclar materiais existentes nos anodos (Prazanová; Knap; Stroe, 2022).

Já o processo de Pirometalurgia é realizado sob temperaturas elevadas, na qual pode-se incluir etapas como: pirólise, incineração, fusão, entre outros (Urias, 2017). Porém, de acordo com Mossali *et al.*, (2020) através desse processo de reciclagem não é possível adquirir o lítio. Dessa forma, ao final do processo de pirometalurgia obtem-se produtos intermediários, que são passados para o procedimento de hidrometalurgia. (Bruckner; Frank; Elwert, 2020).

Conforme Prazanová; Knap; Stroe (2022) a pirometalurgia é um processo de alta eficiência e apresenta uma certa flexibilidade em reciclar diversos tipos de baterias sem fazer um tratamento inicial como é feito no processo de hidrometalurgia, mas também apresenta algumas desvantagens em sua aplicação como: a incapacidade em recuperar o lítio, alumínio e materiais orgânicos; formação de gases tóxicos, surgindo riscos de contaminação do meio ambiente e o alto consumo de energia em consequência da utilização de altas temperaturas (Prazanová; Knap; Stroe, 2022) e (Mossali *et al.*, 2020).

2.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE A REVISÃO

Após a realização da revisão bibliográfica foi possível apresentar diversos conceitos importantes para a elaboração da monografia, entre os temas discutidos fica evidenciado que a Avaliação do Ciclo de Vida e o Ecodesign são ferramentas essenciais para o desenvolvimento de produtos e serviços sustentáveis, como em aplicações para as baterias de lítio, visto que a demanda dos veículos elétricos tende a crescer nos próximos anos.

Iniciou-se apresentando brevemente sobre o projeto do produto, englobando o design, desenvolvimento e a relação do ciclo de vida do mesmo, também foi abordado algumas ferramentas em relação ao impacto ambiental, em seguida, apresentou-se os fundamentos da avaliação do ciclo de vida e alguns exemplos de aplicações e também a ACV ao setor automobilístico.

Dando continuidade na revisão, foi apresentado os princípios de ecodesign e suas diretrizes. Ainda contou com a descrição teórica sobre a cadeia da bateria de

lítio, os impactos ambientais que a bateria causa e também expõe sobre os métodos de reciclagem da bateria de lítio.

Dessa forma, o conteúdo apresentado na revisão bibliográfica, envolve todo o conceito necessário para a análise da avaliação do ciclo de vida e do ecodesign para o desenvolvimento das baterias de lítio utilizadas em carros elétricos, onde a finalidade é diminuir os impactos ambientais.

3 MÉTODOS DE PESQUISA

Neste capítulo será apresentado sobre a metodologia utilizada no presente trabalho, bem como, a análise da classificação da pesquisa, procedimentos para desenvolvimento da revisão de literatura, protocolo da pesquisa, com as fases da pesquisa, coleta, tabulação e análise de dados.

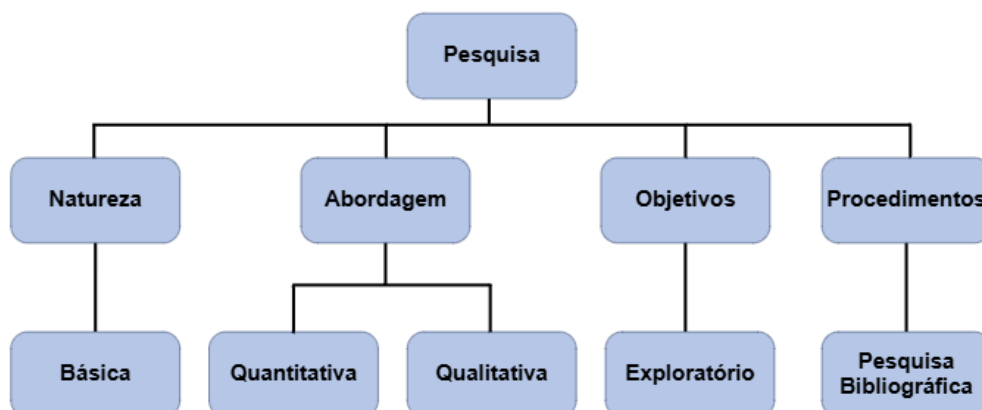
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo pode ser classificado como básico, pois conforme definido por Silva; Menezes (2005) o propósito de uma pesquisa básica é desenvolver novos conhecimentos para auxiliar no avanço da ciência, abrangendo críticas construtivas e interesses universais. Visto que a pesquisa tem como objetivo familiarizar os seus conhecimentos através de pesquisas bibliográficas, pode-se caracterizar como uma pesquisa exploratória, pois têm a finalidade de facilitar o contato do pesquisador com o problema pesquisa (Gil, 2002).

A abordagem da pesquisa pode ser caracterizada como qualitativa e quantitativa. Primeiramente, será utilizada a pesquisa quantitativa para fazer a análise geral dos estudos, após isso, será aplicada a pesquisa qualitativa, na qual é um método que busca analisar e separar os dados e trabalhos científicos (Silva; Menezes, 2005).

Para finalizar o estudo, os procedimentos técnicos têm o apoio de pesquisas bibliográficas, na qual é realizada em artigos científicos, livros e também em materiais expostos na internet (Gil, 2002). A Figura 8 mostra o processo de planejamento do estudo.

FIGURA 8 – PLANEJAMENTO DA PESQUISA



FONTE: Autora (2024).

3.2 PROCEDIMENTOS PARA REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo será apresentado as etapas para o desenvolvimento do estudo, na qual foi utilizado o método de Revisão da Literatura. Para Gil (2002) a pesquisa bibliográfica é um ótimo recurso para os pesquisadores, pois conseguem explorar diversos fenômenos.

Para realizar a revisão foi utilizado como base o modelo de Garza-Reyes (2015), visto que o mesmo define as fases para a revisão, apresenta o objetivo, método e ferramenta em cada etapa. Dessa forma o modelo foi segmentado em 4 etapas:

- Formulação de problema: Formulação da questão de pesquisa.
- Localização e seleção dos estudos: Localizar, selecionar e avaliar a literatura.
- Análise e síntese: Sintetizar e analisar artigos selecionados.
- Reportar e utilizar resultados: Reportar os resultados.

A fase inicial da revisão de literatura, tem o propósito de responder perguntas com base em pesquisas na literatura. Seguindo esse contexto, foram elaboradas duas perguntas, sendo a primeira “como a relação de Avaliação do Ciclo de Vida e Ecodesign nas baterias de lítio utilizadas em carros elétricos tem sido apresentada na literatura?”, para assim obter uma análise a respeito das pesquisas que envolvem o tema e a segunda pergunta, “quais ferramentas auxiliam a associação do ciclo de vida, ecodesign e sustentabilidade?” para definir e direcionar os objetivos da pesquisa.

Para encontrar e selecionar as pesquisas da literatura, foi utilizado como base o artigo da Jabbour (2019) no qual foi adotado a proposta de utilizar o portal de periódico da capes: SciELO e Scopus como fontes de pesquisas para realizar o presente trabalho, entre o período de 2014 a 2024 buscando concentrar em um número de estudos mais recentes.

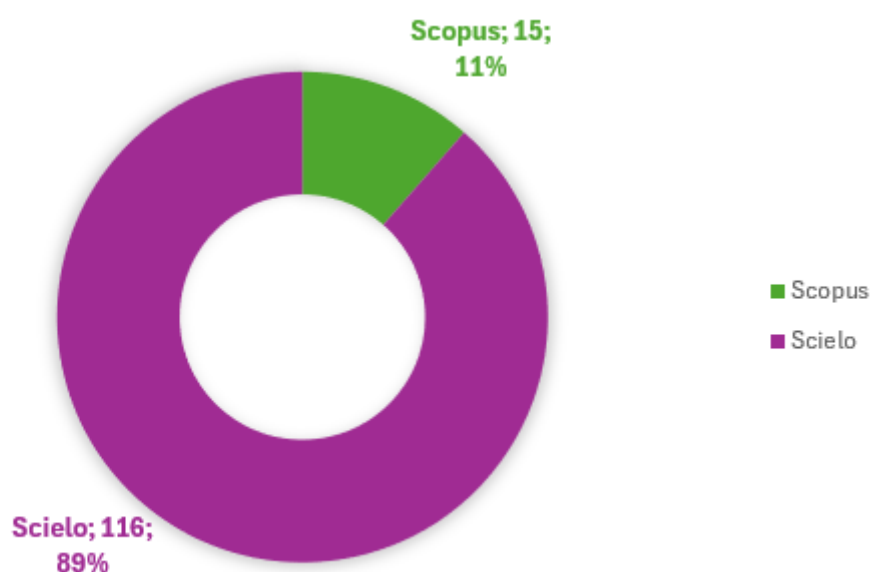
Foram utilizados dois grupos de palavras para a base de dados descritos anteriormente, tais como:

- Grupo 1 – “Life Cycle Assessment” AND “Ecodesign” OR “lithium battery in electric vehicles”
- Grupo 2 – “Ecodesign” AND “lithium battery in electric vehicles”

De acordo com o resultado das buscas de artigos, obteve-se um total de 131 publicações. Foram encontradas 116 publicações no Scielo e 15 no Scopus,

conforme mostra a Figura 9. Após a etapa de busca de artigos e utilizando a ferramenta Start, iniciou-se a etapa de análise e síntese dos trabalhos para selecionar os estudos que associam com o tema pesquisado, conforme a sequência dos critérios: exclusão de artigos duplicados e anônimos, eliminação de resenhas de livros e comentários, verificação dos títulos, resumos e palavras-chaves.

FIGURA 9 – RESULTADO DA BUSCA NAS BASES DE DADOS



FONTE: Autora (2024).

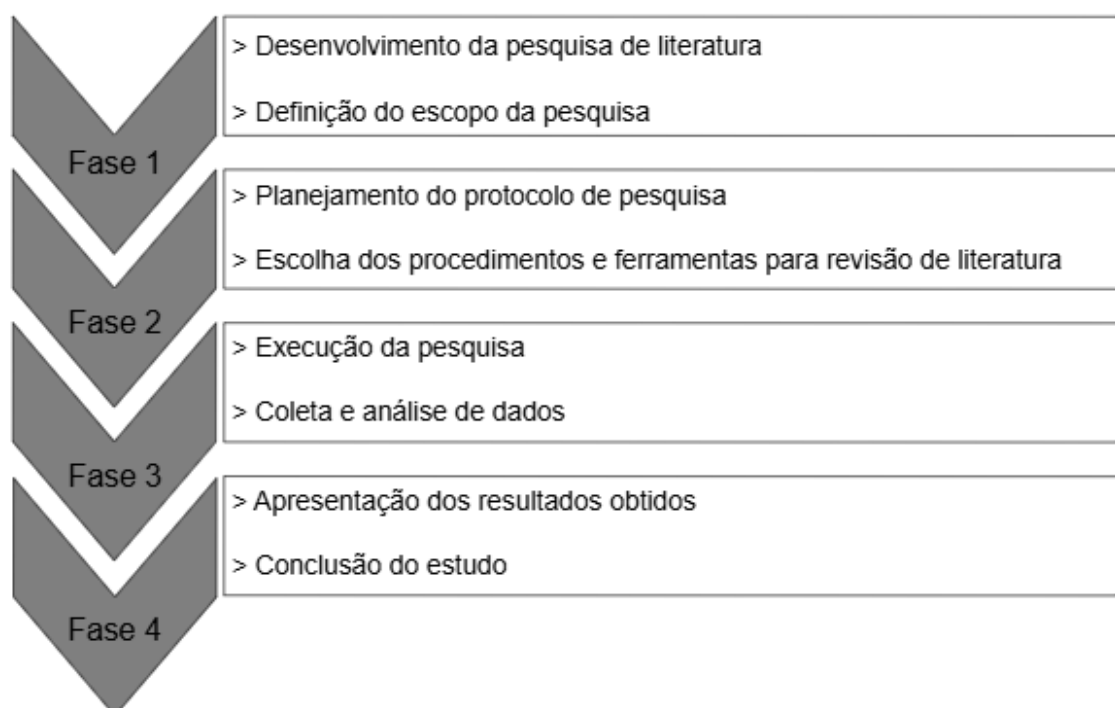
O software StArt foi utilizado para identificar automaticamente artigos duplicados, o que permitiu a realização da primeira seleção das publicações. Em seguida, foi realizada a etapa de extração, onde foi realizada uma análise dos títulos e resumos das publicações, com a eliminação daquelas que estavam fora do escopo da pesquisa. Após essa etapa, os artigos restantes foram lidos por completo, a fim de extrair as informações necessárias para compor os estudos da revisão de literatura, sendo 7 artigos descritos no capítulo 4.

3.3 PROTOCOLO DA PESQUISA

3.3.1 Planejamento da pesquisa

Buscando atingir os objetivos descritos no decorrer do estudo, o mesmo foi estruturado em 4 fases, como observado na Figura 10.

FIGURA 10 – FASES DA PESQUISA



FONTE: Autora (2024).

Fase 1 – Nesta fase, a pesquisa de literatura acontece por meio de análise de artigos, teses e livros, visando fornecer fundamentos sobre o tema em estudo. Durante esta etapa inicial, o tema de pesquisa é delimitado e o escopo do projeto é estabelecido, por meio do objetivo geral e específico.

Fase 2 – Nesta fase são definidos: objetivo geral, os objetivos específicos e a estratégia de busca e também é realizado a escolha das ferramentas e dos procedimentos para revisão da literatura. Sendo esta uma das fases mais importantes, pois envolve todas as etapas que serão realizadas na revisão sistemática da literatura.

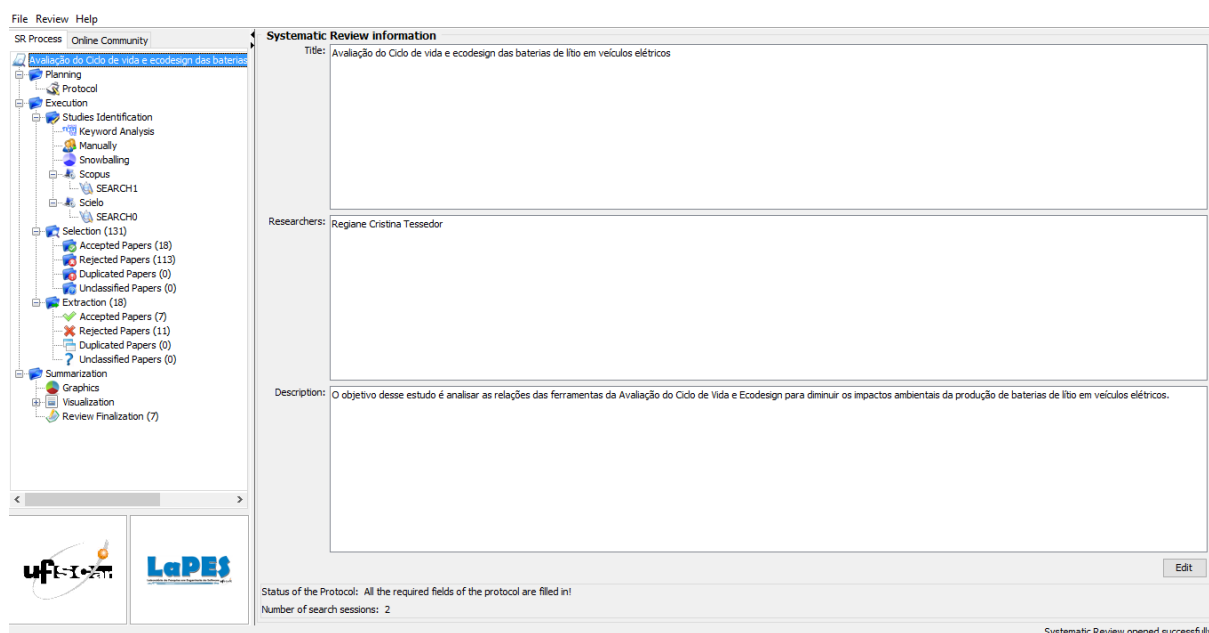
Fase 3 – Depois de ter definido o protocolo de pesquisa, é utilizado o software Start para inserir as informações, no qual irá auxiliar na etapa de revisão. Os estudos são coletados e analisados, após isso, pode-se analisar os resultados diante os critérios selecionados.

Fase 4 – Esta é a última fase da pesquisa, os resultados obtidos são apresentados através de uma análise quantitativa, onde é detalhado por autor, método de pesquisa e com detalhes das pesquisas. Após isso, é possível chegar à conclusão final do estudo.

3.3.2 Coleta, tabulação e análise dos dados

Para realizar a revisão de literatura é fundamental a coleta, análise e organização dos estudos obtidos. Na fase inicial de identificação dos estudos, as sequências de busca foram realizadas e ajustadas para cada base de dados. Os estudos resultantes foram exportados no formato Bibtex, facilitando sua importação para o StArt, ferramenta utilizada para auxiliar a análise de estudo, criada pelo laboratório de pesquisa em Engenharia de Software da Universidade Federal de São Carlos (Aranha, 2022). Essa ferramenta é dividida em: planejamento, execução e publicação, conforme a Figura 11.

FIGURA 11 - MODELO DAS FASES DA FERRAMENTA START



FONTE: Ferramenta StArt.

Para iniciar, será realizado a seleção dos estudos por meio de uma análise individual de cada título que possivelmente irão corresponder aos critérios de inclusão, já os demais estudos serão excluídos.

Em seguida, os estudos selecionados passarão novamente por uma etapa de extração, similar ao processo citado anteriormente, apresentando critérios de inclusão, exclusão e qualidade dos trabalhos. Será realizado uma análise do resumo e da conclusão de cada estudo e com isso será possível obter uma nova lista de estudos, para o pesquisador avaliar a qualidade dos estudos e retirar os dados básicos de descrição do estudo.

Na ferramenta StArt, após a etapa de extração, onde os resultados encontrados serão analisados e documentados, inicia-se a fase de publicação, nela os resultados podem ser encontrados em diversos formatos visuais, como em gráficos e tabelas.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados de uma revisão de literatura, com base nos procedimentos descritos no capítulo 3. A revisão abrangeu artigos publicados entre 2014 e 2024, resultando em 7 estudos, conforme mostrado no Quadro 1, que associa cada artigo ao método de pesquisa utilizado.

A análise começará com uma abordagem quantitativa, fornecendo uma visão geral das pesquisas mais recentes. Em seguida, será realizada uma análise qualitativa, destacando os principais pontos de cada estudo.

QUADRO 1 – ARTIGOS RESULTANTES DA REVISÃO DE LITERATURA

Nº	Título	Autor	Ano	Método de Pesquisa
1	A design process model for battery systems based on existing life cycle assessment results	Akasapu, U. ; Hehenberger, P.	2023	Revisão de literatura
2	Integrating an ageing model within Life Cycle Assessment to evaluate the environmental impacts of electric batteries	Lavisse, T. <i>et al.</i>	2023	Estudo experimental
3	Cost and carbon footprint reduction of electric vehicle lithium-ion batteries through efficient thermal management	Lander, L. <i>et al.</i>	2021	Estudo experimental
4	Environmental Impacts of Graphite Recycling from Spent Lithium-Ion Batteries Based on Life Cycle Assessment	Rey, I. <i>et al.</i>	2021	Estudo experimental
5	Environmental Impact Analysis of Aprotic Li-O ₂ Batteries Based on Life Cycle Assessment	Iturrondobeitia, M. <i>et al.</i>	2021	Estudo experimental
6	The Environmental Performance of Traction Batteries for Electric Vehicles from a Life Cycle Perspective	Sandrini, G. <i>et al.</i>	2021	Revisão de literatura
7	Assessment of sustainability issues for the selection of materials and technologies during product design: a case study of lithium-ion batteries for electric vehicles	Reuter, B.	2016	Estudo de caso

FONTE: Autora (2024).

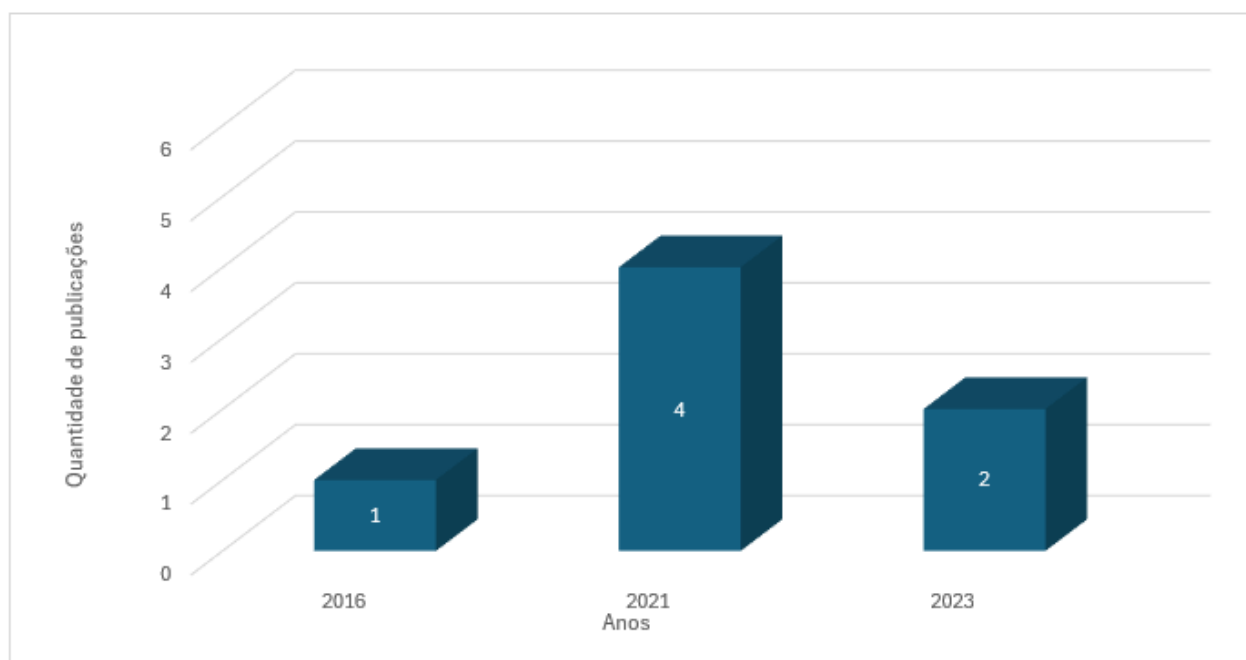
4.1 REVISÃO DE LITERATURA SOBRE ACV E ECODSIGN DAS BATERIAS DE LÍTIO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS

4.1.1 Análise quantitativa sobre os estudos

O crescimento das publicações sobre ACV que relacionem o uso de baterias de lítio em veículos elétricos podem ser observados na figura 12. Nota-se que o maior volume de publicações se concentra nos anos de 2021 e 2023 devido ao aumento na produção de veículos elétricos, representando 90% do portfólio de artigos da revisão de literatura.

O tema de ACV das baterias de lítio e ecodesign está se tornando um conteúdo com grande potencial para o aumento do número de pesquisas e com isso tende-se a elevar o crescimento das publicações para os próximos anos.

FIGURA 12 – EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES



FONTE: Autora (2024).

Considerando os periódicos das publicações, a revista ACS Sustainable Chemistry and Engineering obteve o maior número de publicações, sendo 2 artigos publicados e os demais periódicos possuem 1 artigo publicado, conforme mostra o Quadro 2.

QUADRO 2 - PERIÓDICO DAS PUBLICAÇÕES

Periódico	Número de Artigos
ACS Sustainable Chemistry and Engineering	2
Journal of Cleaner Production	1
Applied Energy	1
Environmental and Climate Technologies	1
International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)	1
CIRP de Procedia	1

FONTE: Autora (2024).

A classificação dos periódicos foi realizada com base no fator de impacto, que mede a relevância e influência de uma publicação científica na sua área de atuação. O periódico Applied Energy, com o maior fator de impacto entre os citados, é reconhecido por publicar pesquisas de grande relevância. Em seguida, o Journal of Cleaner Production também apresenta um fator de impacto elevado, indicando sua importância, conforme o Quadro 3. Assim, pode-se concluir que as pesquisas publicadas nesses periódicos são de significativa relevância, refletindo a qualidade e influência dos trabalhos publicados.

QUADRO 3 – FATOR DE IMPACTO DOS PERIÓDICOS

Periódico	Fator de Impacto
Applied Energy	10,1
Journal of Cleaner Production	9,8
ACS Sustainable Chemistry and Engineering	7,1
CIRP de Procedia	3,8
International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJDeM)	2,1
Environmental and Climate Technologies	1,4

FONTE: Autora (2024).

A análise das palavras-chave, realizada por meio do software Start, mostrou as mais utilizadas dentre os artigos selecionados da revisão de literatura. Como mostrado na Figura 13, as palavras-chave são organizadas de acordo com sua incidência, sendo apresentadas em tamanhos diferentes. As mais destacadas são “Lithium-ion-batteries”, “Life-Cycle” e “Ecodesign”, o que válida a correspondência dos estudos com a temática da pesquisa. Em segundo plano, aparecem termos como “Environmental-Impact”, “Life-Cycle-Assessment”, que refletem os princípios e os modelos assumidos pelas pesquisas.

Um fator que pode levar as pesquisas a se concentrarem mais em estudos experimentais é a necessidade de verificar as abordagens e soluções propostas em condições reais, pois a avaliação do ciclo de vida analisa os impactos ambientais da bateria de lítio desde a sua concepção até o descarte final e o ecodesign envolve a criação do produto com menor impacto ambiental.

4.1.2 Análise do conteúdo das pesquisas em relação ao ACV e Ecodesign

Com base na revisão de literatura, foram identificados os artigos que discutem a ACV das baterias de lítio, abordando tanto perspectivas teóricas quanto práticas, e com foco na relação com o ecodesign. O Quadro 4 apresenta as características dos artigos, com recorte do tema principal abordado e a categoria. O artigo de Gianvincenzi, M. *et al.*, (2024) não foi filtrado através do StArt, porém apresenta grande relevância para o tema em estudo.

QUADRO 4 – CARACTERÍSTICAS DOS ARTIGOS RESULTANTES DA REVISÃO DE LITERATURA

Artigo	Tema principal	Categoria
Akasapu, U. ; Hehenberger, P. (2023)	Investigar os resultados de ACV existentes para quantificar os diferentes parâmetros que podem afetar as decisões de um engenheiro de projeto de bateria.	ACV e sustentabilidade
Lavisse, T. <i>et al.</i> (2023)	ACV conduzida com o software de código aberto Brightway e construída em dados primários coletados de uma desmontagem completa de um veículo elétrico comercial.	ACV e ecodesign
Lander, L. <i>et al.</i> (2021)	Estudo sobre a vida útil da bateria por meio do gerenciamento térmico eficaz, onde diminui significativamente o custo do ciclo de vida da bateria e a pegada de carbono.	ACV
Rey, I. <i>et al.</i> (2021)	Aplicação do ACV para obter o perfil ambiental geral dos processos de reciclagem das baterias de lítio: hidrometalúrgica e pirometalúrgica.	Implementação do ACV
Iturrondobeitia, M. <i>et al.</i> (2021)	Explorar as possibilidades das baterias de Lítio como uma tecnologia emergente de armazenamento de energia com impacto ambiental potencialmente reduzido.	Avaliação ambiental
Sandrini, G. <i>et al.</i> (2021)	Análise dos resultados obtidos a partir da literatura científica sobre todas as fases que compõem o ciclo de vida das baterias de tração para veículos elétricos, a fim de avaliar o impacto ambiental associado.	ACV
Reuter, B. (2016)	Aplicação da ACV ao uso de baterias de íons de lítio com cátodo de níquel-manganês-cobalto (Li-NMC) e com cátodo de fosfato de ferro (LiFeP) em um veículo elétrico.	Implementação do ACV
Gianvincenzi, M. <i>et al.</i> (2024)	Fornecer uma estrutura teórica dedicada ao ecodesign com base em metodologias existentes, que pode ser adaptada a qualquer cenário. Esta estrutura busca eliminar os problemas, permitindo a obtenção de um design otimizado, viável e sustentável para as baterias.	Ecodesign e Sustentabilidade

FONTE: Autora (2024).

Os resultados da revisão da literatura foram analisados com base no conteúdo das publicações, conforme apresentado no Quadro 4. Os estudos foram agrupados de acordo com a abordagem ou tema principal, permitindo uma organização que facilita a compreensão das diferentes perspectivas discutidas. Cada artigo foi analisado individualmente, identificando os padrões e as principais contribuições.

Para uma análise mais profunda foram selecionados três artigos descritos nos próximos subtópicos, porém pelo fato do software não ter filtrado muitos artigos que correlacionam a ACV e o Ecodesign, foram selecionados dois artigos dos autores: Zwolinski *et al.*, (2019) e Zhang *et al.*, (2020) pela fonte de pesquisa Sciencedirect. Já o artigo de Lavisse *et al.*, (2023) foi o estudo escolhido entre os 7 artigos filtrados do software StArt.

4.1.2.1 Zwolinski *et al.* (2019)

Zwolinski *et al.*, (2019) apresentaram um modelo ágil para apoiar os designers na tomada de decisões durante o processo de design das baterias de lítio, permitindo o monitoramento dos indicadores de impactos ambientais facilitando o ecodesign do produto final introduzindo o conceito do ciclo de vida do produto, buscando conectar os indicadores ambientais aos parâmetros críticos do ciclo de vida do projeto, promovendo a sustentabilidade e a eficiência nas escolhas de design. A metodologia é exemplificada por meio de um estudo de caso sobre baterias de lítio para veículos elétricos.

No desenvolvimento do estudo, foram realizados as ACV das baterias considerando todos os estágios do ciclo de vida, uma avaliação foi feita para as baterias de LFP (Fosfato de Ferro Lítio) e a outra avaliação para a bateria de NMC (Níquel, Manganês e Cobalto) baterias com a mesma aplicação, porém apresenta composições químicas diferentes. A Figura 15 apresenta a contribuição dos Parâmetros Críticos do Ciclo de Vida do Projeto, identificados para as baterias LFP e NMC, relacionando-os os diferentes indicadores ambientais nos quais foram calculados usando os métodos de base CML2001 e IMPACT 2002+ (utilizados para avaliar e quantificar os impactos ambientais de produtos e processos) destacando as áreas onde intervenções podem ser mais eficazes para melhorar a sustentabilidade

e auxilia a identificar quais parâmetros são mais relevantes para cada tipo de bateria em termos de impactos ambientais.

FIGURA 15 – CONTRIBUIÇÃO DE PARÂMETROS CRÍTICOS DO CICLO DE VIDA DO PROJETO IDENTIFICADOS PARA BATERIAS LFP E NMC .

Indicadores Ambientais	Depleção abiótica		Acidificação		Eutrofização		Aquecimento global		Consumo de energia		Ecotoxicidade	
	NMC	LFP	NMC	LFP	NMC	LFP	NMC	LFP	NMC	LFP	NMC	LFP
Parâmetros Críticos do Ciclo de Vida do Projeto												
Energia da sala seca	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Localização da sala seca	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X
Densidade de energia									X	X		
Eficiência energética									X	X		
Local de uso									X	X		
Quantidade de cobre			X	X							X	X
Taxa de reciclagem de cobre			X	X							X	X
Quantidade de NMP					X	X						
Quantidade de material ativo			X			X					X	
Taxa de recuperação de material ativo			X	X	X						X	X

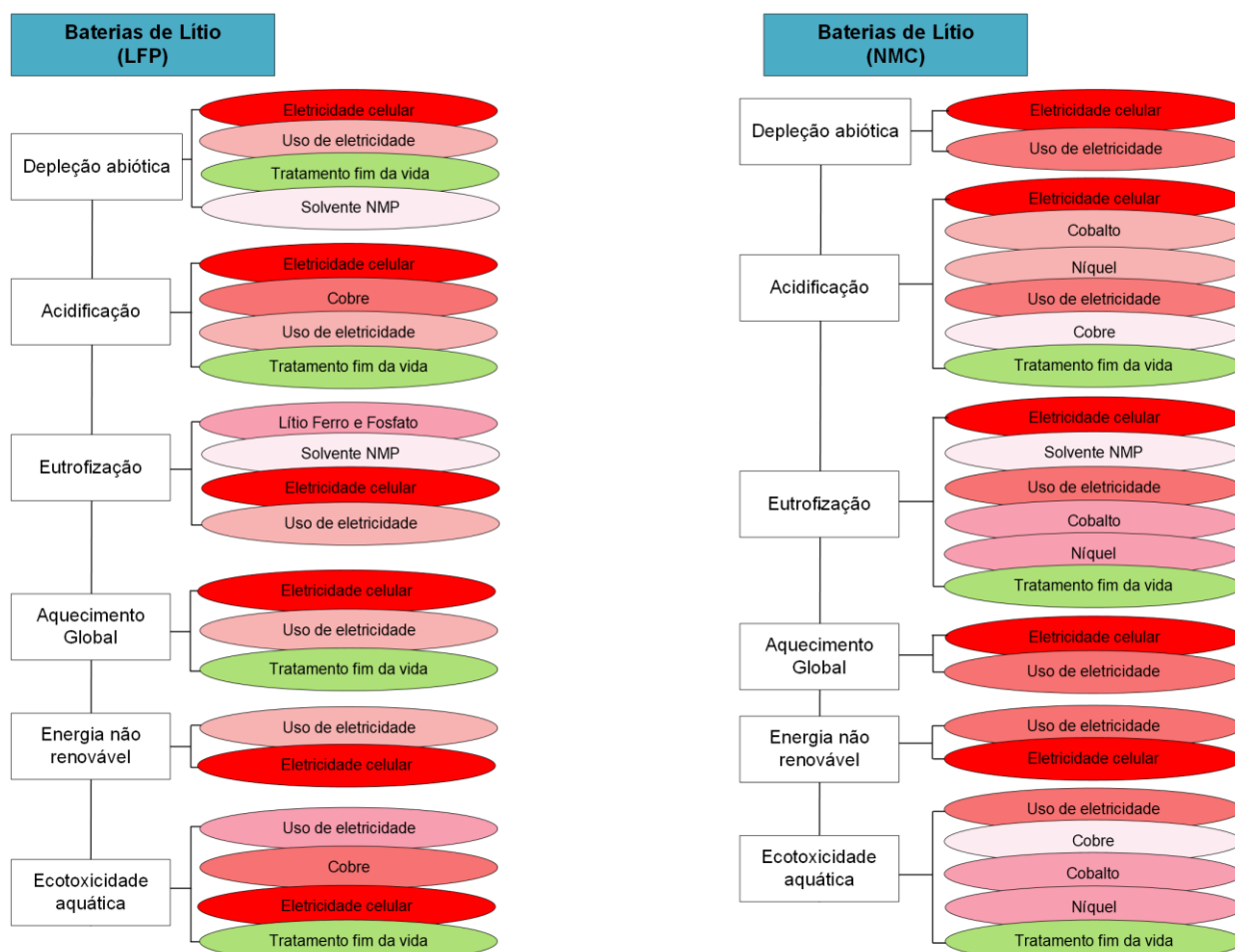
FONTE: Adaptado de Zwolinski *et al.* (2019).

Os resultados mostram que os parâmetros críticos apresentam efeitos distintos conforme a composição química das baterias. A quantidade de material ativo e sua taxa de recuperação influenciam de maneira diferente os impactos ambientais, afetando diversos grupos de interesse. Por exemplo, o material ativo das baterias NMC é de interesse para o fabricante e o reciclador, devido ao valor dos metais que elas contêm, enquanto o material ativo das baterias LFP não é relevante para o reciclador.

Os autores apresentam uma visão ambiental para as tecnologias das baterias (LFP e NCM) vista na Figura 16, ressaltando os parâmetros que influenciam os impactos ambientais ligados a cada tipo de bateria, mostrando as diferenças nos impactos e nos parâmetros, ressaltando como a composição química, processos de fabricação e reciclagem afetam a sustentabilidade.

Para minimizar o impacto geral, o designer deve focar em parâmetros-chave com código de núcleos em vermelho escuro, pois estes têm maior contribuição para o impacto global. Para reduzir o impacto de um indicador específico, o designer deve deixar de lado o código de núcleos e analisar a classificação dos parâmetros-chave relacionados a esse indicador, que são classificados do maior ao menor influente.

FIGURA 16 - A VISÃO AMBIENTAL PARA AS TECNOLOGIAS DE BATERIAS LFP E NMC



FONTE: Adaptado de Zwolinski *et al.* (2019).

No estudo de caso os autores utilizaram um modelo ágil para otimizar uma bateria do ponto de vista ambiental, visando aumentar sua reciclabilidade. Inicialmente, foram testadas opções para a tecnologia de baterias LFP, como mudanças no processo de fabricação, solventes e processos de fim de vida. No entanto, não foi possível encontrar um equilíbrio aceitável entre custos econômicos e ambientais devido à limitação no processo de reciclagem, que é pouco econômico e tem taxas de recuperação insatisfatórias.

Diante disso, os designers mudaram para a tecnologia de baterias NMC, onde novos parâmetros-chave surgiram, como o material ativo do cátodo, que influencia significativamente os impactos ambientais devido à presença de metais pesados como cobalto e níquel. A tecnologia NMC mostrou vantagens, pois permitiu modificações mais eficazes no processo de fim de vida e garantiu maior lucratividade na reciclagem, além de ser menos impactante ambientalmente,

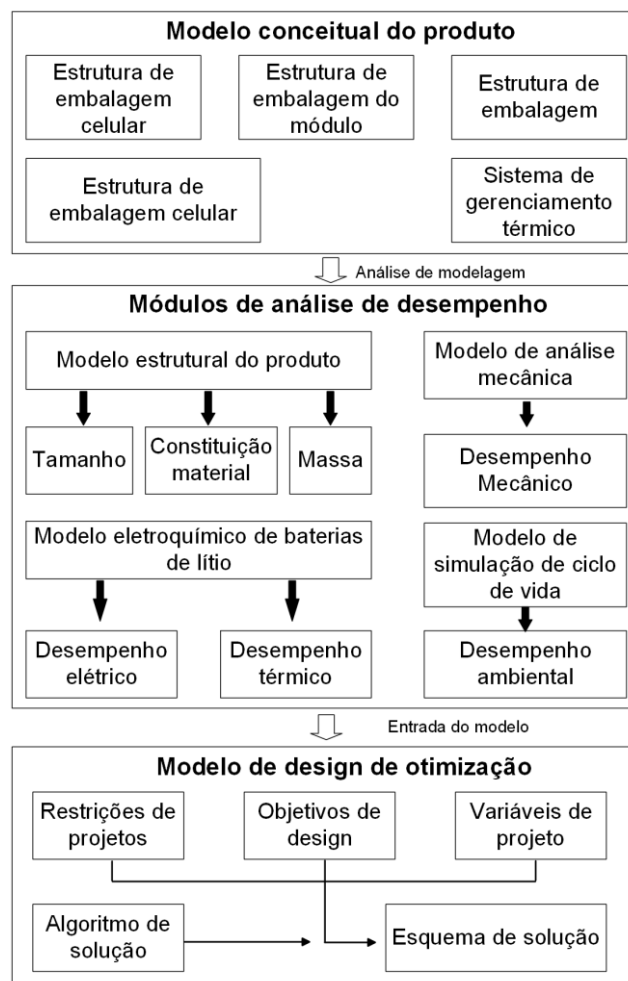
compensando os efeitos negativos dos metais pesados com outras modificações nos parâmetros-chave. O modelo ágil permitiu aos designers a compreenderem melhor como as mudanças nos parâmetros afetam o impacto ambiental de diferentes tecnologias de baterias.

4.1.2.2 Zhang *et al.* (2020)

Zhang *et al.*, (2020) apresentaram uma estrutura de otimização voltada para o ecodesign de baterias para os veículos elétricos, com o objetivo de atender às crescentes demandas por soluções sustentáveis no setor. Para isso foi desenvolvido uma arquitetura de modelo de simulação do ciclo de vida para essas baterias, que combinam a metodologia de ACV com o conceito de design paramétrico de produtos. Essa abordagem possibilita integrar o inventário de ciclo de vida aos esquemas de design, promovendo uma análise e otimização eficazes e sustentáveis.

Para ilustrar o processo de otimização e validar os efeitos da metodologia, demonstrando sua aplicabilidade prática e os resultados em termos de desempenho ambiental e eficiência no design das baterias foi realizado um estudo de caso. Devido a complexidade do design e desenvolvimento de uma bateria foi proposto uma estrutura de otimização para o ecodesign, garantindo a segurança na tomada de decisão de ecodesign, conforme a Figura 17.

FIGURA 17 - UMA ESTRUTURA DE OTIMIZAÇÃO PARA ECODESIGN DE BATERIAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS.



FONTE: Adaptado de Zhang *et al.* (2020).

O processo de desenvolvimento de pacotes de baterias para veículos elétricos envolve três principais componentes: o modelo conceitual do produto, módulos de análise de desempenho e o modelo de design de otimização. O modelo conceitual abrange o fornecimento de células, módulos e pacotes, além de sistemas de controle de carga e gerenciamento térmico. Os módulos de análise avaliam o desempenho da bateria por meio de modelos estruturais, mecânicos, eletroquímicos e de sustentabilidade. O modelo de otimização de design ajusta variações de design, restrições e funções objetivas para melhorar o desempenho do pacote de bateria, utilizando algoritmos de solução para determinar o melhor design. Esse processo busca criar pacotes de baterias eficientes, seguros e sustentáveis para os veículos elétricos.

Como contribuição da pesquisa os autores identificaram o modelo estrutural do produto do conjunto de baterias, o inventário do ciclo de vida estabelecido pela

análise dos fluxos de materiais de entrada e saída de cada processo de fabricação, calcularam os impactos ambientais de design, realizaram o modelo de otimização de baterias para veículos elétricos.

O estudo seleciona parâmetros dimensionais do conjunto de baterias e usa os resultados de impacto ambiental de um modelo existente como linha de base para restrições de design, conforme a Figura 18. Os resultados mostraram que os novos esquemas de design reduziram os impactos ambientais, materiais como o aço foi substituído por um material laminado leve que apresenta a mesma função.

FIGURA 18. RESULTADOS DE OTIMIZAÇÃO DE ESQUEMAS DE PROJETO PARA ECODESIGN.

Nome	Esquema 1	Esquema 2	Esquema 3
Números de módulos no pacote (paralelo, série)	1,26	1,24	1,24
Números de células em um módulo (paralelo, série)	2,4	2,5	3,3
Espessura do eletrodo poroso positivo [um]	88	79	73
Largura do revestimento do eletrodo positivo [mm]	132	140	128
Comprimento do revestimento do eletrodo positivo [mm]	289	296	294
Número de coletores de corrente positiva em uma célula	27	26	32
Espessura da célula [mm]	12	10	12
Comprimento, largura e altura da embalagem [mm]	1446, 692, 172	1395, 706, 180	1486, 702, 168
Energia armazenada [kWh]	61.0	66.1	61.4
Massa da embalagem [kg]	321	348	337
Autonomia de veículos elétricos [km]	325	349	326
Valor total do impacto ambiental	5521	5977	5997

FONTE: Adaptado de Zhang *et al.* (2020).

O estudo apresentado por Zhang *et al.*, (2020) traz grande contribuição para evolução das pesquisas relacionadas ao ACV e ecodesign de baterias de veículos elétricos, oferecendo uma abordagem eficaz para integrar práticas sustentáveis no processo de design e desenvolvimento das baterias de lítio. A estrutura envolve a criação de um modelo de simulação do ciclo de vida, que permite avaliar em tempo real o desempenho ambiental da bateria.

4.1.2.3 Lavisse *et al.* (2023)

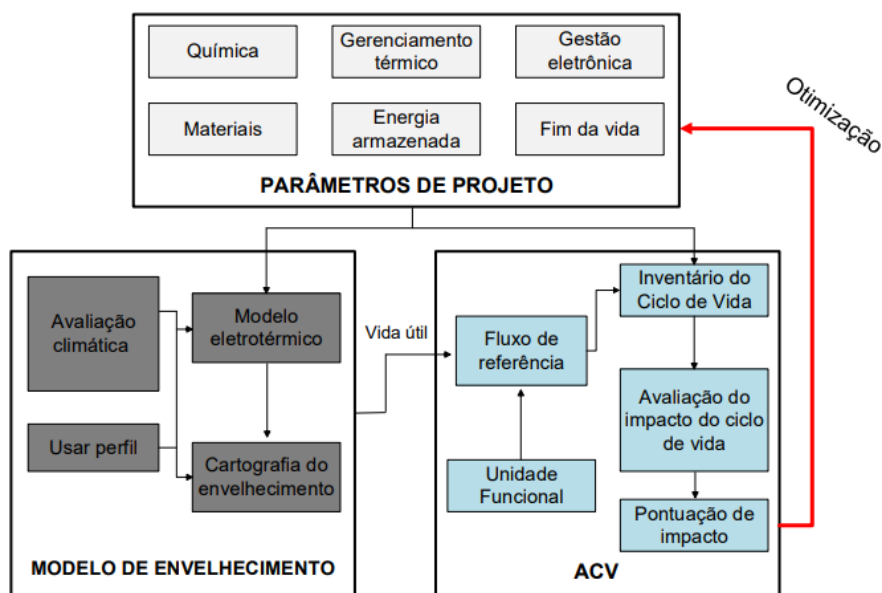
Lavisse *et al.*, (2023) apresentaram um método para analisar os impactos ambientais das baterias de lítio, através da ACV e da integração de um novo modelo de envelhecimento para prever a vida útil das baterias considerando parâmetros de design e condições de uso. A metodologia é desenvolvida através de um estudo experimental e foi realizada com o software aberto Brightway

(desenvolvido para análise do ciclo de vida) baseada em dados primários coletados da desmontagem completa de um veículo elétrico comercial. Essa abordagem é facilmente parametrizável e visa comparar diversas estratégias de ecodesign.

O estudo focou no sistema de bateria, que afetam o envelhecimento da bateria. A ACV é realizada de forma berço ao túmulo, considerando desde a extração de materiais até o fim da vida útil da bateria. A inclusão do modelo de envelhecimento permitiu prever a vida útil da bateria com base no design e nas condições de uso, resultando em uma análise mais precisa das emissões de gases de efeito estufa.

A Figura 19 ilustra a relação entre a vida útil da bateria e as emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida. Ela destaca como diferentes condições de uso e design da bateria influenciam tanto a durabilidade quanto as emissões associadas e enfatiza a importância de considerar esses fatores na avaliação do impacto ambiental das baterias de lítio.

FIGURA 19 - ESTRUTURA DO MODELO QUE INTEGRA UM MODELO DE ENVELHECIMENTO DENTRO DO ACV

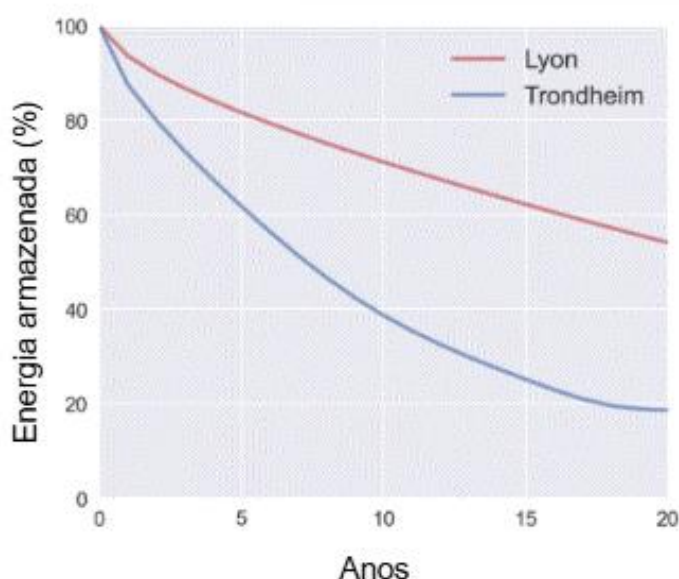


FONTE: Adaptado de Lavisse *et al.* (2023).

O modelo foi utilizado para calcular a perda de capacidade de uma bateria de 33,3 kWh de um veículo elétrico de pequeno porte. A partir desses cálculos, foi possível determinar a vida útil da bateria, permitindo avaliar as emissões de gases de efeito estufa ao longo do ciclo de vida da bateria.

A perda de capacidade da bateria após 10 anos de uso é de 74,2% da capacidade inicial, resultando em 25,8% da energia utilizável armazenada. A capacidade diminui significativamente no primeiro ano e continua a decrescer linearmente a partir do quinto ano. Após 20 anos, a capacidade da bateria é consideravelmente reduzida em comparação com a capacidade original, conforme mostra a Figura 20, nas cidades de Lyon (França) e de Trondheim (Noruega).

FIGURA 20 - PERDA DE CAPACIDADE DA BATERIA DE LÍTIO DURANTE 20 ANOS



FONTE: Adaptado de Lavis *et al.* (2023).

A análise indicou uma diferença significativa no impacto ambiental da bateria quando o modelo de envelhecimento foi considerado, especialmente em climas frios. Isso destaca a capacidade do modelo de se adaptar a diferentes condições de design e uso da bateria. Após aprimorar o modelo eletrotérmico (relacionado ao comportamento térmico da bateria), o próximo passo será aplicar o modelo a outros parâmetros de design. Esse processo permitirá realizar análises de sensibilidade, visando identificar os principais fatores que influenciam a vida útil da bateria. A partir disso, será possível identificar novos pontos críticos ambientais e melhorar o ecodesign das baterias, com o objetivo de reduzir seu impacto ambiental.

4.1.3 Análise geral dos estudos

Os autores apresentaram perspectivas e aplicações diferentes em seus estudos, enfatizando a ACV das baterias de lítio e a importância do ecodesign em seus projetos. Nota-se que os fundamentos apresentados na literatura buscam promover práticas mais sustentáveis na concepção e no uso das baterias de lítio.

Os autores desempenharam um papel crucial na evolução da ACV e do ecodesign, oferecendo contribuições para a compreensão do tema em estudo. Zwolinski *et al.*, (2019) teve como objetivo de estudo, um modelo ágil para auxiliar os designers na tomada de decisões durante o processo de design das baterias de lítio por meio de um estudo de caso.

Zhang *et al.*, (2020) apresentaram uma estrutura de otimização interligada para o ecodesign de baterias para os veículos elétricos, com o objetivo de atender às crescentes demandas por soluções sustentáveis no setor e também utilizou o método de estudo de caso. Lavisse *et al.*, (2023) desenvolveram um método para analisar os impactos ambientais das baterias de lítio, através da ACV e da integração de um novo modelo de envelhecimento para prever a vida útil das baterias considerando parâmetros de design e condições de uso, realizado através de um estudo experimental.

Ao integrar o ecodesign com o ACV, os autores ajudam a identificar soluções que não apenas minimizam os impactos ambientais, mas também promovem a eficiência de recursos, a durabilidade dos produtos e a redução de resíduos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi analisar as relações das ferramentas da avaliação do ciclo de vida e ecodesign para diminuir os impactos ambientais da produção de baterias de lítio em veículos elétricos. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura abrangendo o período de 2014 a 2024, e foram utilizadas as bases de dados Periódico da Capes (Scielo e Scopus). A revisão foi conduzida com o auxílio da ferramenta StArt, que facilitou a coleta de dados das bases citadas e proporcionou uma abordagem estruturada para a análise da literatura, com etapas bem definidas, que auxiliam com a busca da revisão.

Na etapa de seleção, foram identificados inicialmente 131 artigos, sendo 116 estudos no Scielo e 9 no Scopus. Após a filtragem obteve-se um total de 7 artigos resultantes da revisão de literatura. Os períodos com maior número de publicações foram em 2021 e 2023. Em relação aos periódicos o que obteve o maior destaque foi ACS Sustainable Chemistry and Engineering, com 2 publicações no total e sendo o terceiro maior fator de impacto dentre os periódicos analisados. Em relação a metodologia utilizada pelas pesquisas destacou-se o estudo experimental, com 57% das pesquisas, determinando a preferência desta metodologia em relação ao tema de pesquisa.

Portanto a pesquisa atingiu os seus objetivos específicos em (1) analisar os principais impactos ambientais associados as fases do ciclo de vida das baterias de lítio, desde a extração de matérias-primas até o descarte final; (2) identificar as práticas de ecodesign aplicadas nos veículos elétricos; e (3) identificar os métodos da Avaliação do Ciclo de Vida na fase de reciclagem da bateria de lítio.

O estudo contribui ao desenvolver um levantamento bibliográfico sobre ACV e ecodesign de baterias de lítio, ampliando o conhecimento existente na área e enriquecendo as pesquisas. Embora o ecodesign esteja cada vez mais presente nas práticas de sustentabilidade e inovação, as abordagens em relação ao ecodesign relacionadas com a avaliação do ciclo de vida ainda é relativamente dispersa e fragmentada, apresentaram limitações nas pesquisas, dificultando a análise na literatura.

Futuras pesquisas sobre ACV e o ecodesign de baterias de lítio em veículos elétricos devem se concentrar em aprimorar as metodologias de avaliação

ambiental, considerando não apenas as etapas de fabricação e descarte, mas também a eficiência do ciclo de uso e a reutilização dos componentes.

É fundamental investigar novas tecnologias de reciclagem que permitam a recuperação mais eficiente do lítio, além de explorar alternativas sustentáveis, como o uso de materiais mais abundantes e menos poluentes. A integração de práticas de ecodesign nas fases iniciais de desenvolvimento das baterias pode reduzir significativamente os impactos ambientais, promovendo a durabilidade e a reciclabilidade dos produtos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, H. D.; WEISS, M. C.; LUPPE, M. R.; CONSONI, F. L. **O veículo elétrico: estudo da percepção dos brasileiros**. E-Locução – Revista científica da Faex, ed. 15, 2019. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucacao/article/view/180/148>. Acesso em: 15 mar. 2024.

AKASAPU, U. ; HEHENBERGER, P. **A design process model for battery systems based on existing life cycle assessment results**, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652623013070>. Acesso em: 10 out. 2024.

ASSIS, B. B. **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009. Disponível em: https://www2.ufjf.br/ep//files/2014/07/2009_1_Bruno-Bastos.pdf. Acesso em: 02 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Família de normas ISO 14000**. NBR ISO 14000. Rio de Janeiro, 1996.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Informações sobre a entidade**.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14001 - **Sistema de Gestão Ambiental: especificação e diretrizes para uso**. Rio de Janeiro, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14006 – **Sistema de Gestão Ambiental – Diretrizes para incorporar o ecodesign**. Rio de Janeiro, p. 6, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14040 - **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro. 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR ISO 14044 – **Gestão ambiental – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e orientações**. Rio de Janeiro. 2009b.

AGENDA 2030 PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. 2022. Disponível em: <http://www.ods.cnm.org.br/agenda-2030>. Acesso em: 01 abr. 2024.

ALMEIDA, F. **O Bom Negócio da Sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, p. 101, 2002.

ALMEIDA, S. T. **Avaliação da ecoeficiência na gestão de resíduos: estudo de caso de uma rede particular de saúde em fortaleza**. Monografia de graduação (Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em:

https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/71836/1/2022_tcc_stalmeida.pdf. Acesso em: 17 maio 2024.

ALVES, A. S. LEÃO, M. S. **Análise do sistema de gestão ambiental empresarial para o desenvolvimento sustentável**. Trabalho de Conclusão de Curso. Niterói, 2019, 81f. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/11351>. Acesso em: 04 jun. 2024.

ALVES, J. L. S.; MARTINS, H. S. A.; MEDEIROS, D. D. Ecoeficiência como fator de inovação nas micro e pequenas empresas: um estudo de caso. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção, ENEGE**, 29. Salvador, BA, Brasil, out. 2009.

ALVES, M. C. **Um estudo sobre a possibilidade de integração e utilização das metodologias do PDM e PMBOK na área de gestão do design**. Monografia de graduação (Curso de desenho industrial) – Universidade Federal do Maranhão, São Luiz, 2014. Disponível em: <https://monografias.ufma.br/jspui/bitstream/123456789/489/1/TCC%20Milena%20Carneiro%20Alves.pdf>. Acesso em: 02 jun 2024.

ARANHA, J. A. M. Revisão sistemática da literatura utilizando a ferramenta StArt: O estudo da Arte Sobre os Principais Indicadores de Ações. **Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)**, v. 6, n. 1, 7 nov. 2022.

BARBIERI, J.C. **Gestão Ambiental Empresarial: conceitos, modelos e instrumentos**. 4ª ed. São Paulo: Saraiva, 312p. 2016.

BARBIERI, J. C. **Gestão Ambiental Empresarial**. 2ª ed. São Paulo, Saraiva, 2007

BAAS, L. Cleaner Production and Industrial Ecology: A Dire Need for 21st Century Manufacturing. In: Misra, K. B. (ed.) **Handbook of Performability Engineering**. Londres: Springer London. p. 139-156, 2008.

BE THE STORY. **Ecodesign: fazer produtos circulares e mais sustentáveis**, 2024. Disponível em: <https://www.be-the-story.com/pt/ambiente/ecodesign-fazer-produtos-circulares-e-mais-sustentaveis/>. Acesso em: 17 jun. 2024.

BOMBE, K. **Electric Vehicle (EV) Market Worth \$2,495.4 Billion by 2027, Growing at a CAGR of 33.6% From 2020- Exclusive Report by Meticulous Research®** Globenewswire, 2021. Disponível em: <https://www.globenewswire.com/newsrelease/2021/05/11/2227050/0/en/Electric-Vehicle-EV-Market-Worth-2-495-4-Billionby-2027-Growing-at-a-CAGR-of-33-6-From-2020-Exclusive-Report-by-MeticulousResearch.html>. Acesso em: 30 mar. 2024.

BOONE, L. E; KURTZ, D. L. **Marketing Contemporâneo**. (Tradução de Roberta Schneider). São Paulo: Cengage Learning, 2009.

BOONS, F.; CHERTOW, M.; PARK, J.; SPEKKINK, W.; SHI, H. Industrial Symbiosis Dynamics and the Problem of Equivalence: Proposal for a Comparative Framework. **Journal of Industrial Ecology**, v.21, n.4, p.938–952, 2017

BOONS, F.; SPEKKINK, W.; MOUZAKITIS, Y. The Dynamics of Industrial Symbiosis: A Proposal for a Conceptual Framework Based Upon a Comprehensive Literature Review. **Journal of Cleaner Production**, v.19, p.905–911, 2011.

BURDEK, B.E. **Design**: Historia, teoria e pratica do Design de Produto. Tradução Freddy Van Camp-2008. Editora Edgard Blucher, 2005.

BRUCKNER, L.; FRANK, J.; ELWERT, T. Industrial Recycling of Lithium-Ion Batteries: A Critical Review of Metallurgical Process Routes. **Metals**, v.10, p.29, ago. 2020.

CASTELVECCHI, D. **Electric cars and batteries**: how will the world produce enough?. Nature, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-021-02222-1>. Acesso em: 01 jun. 2024.

CAJAZEIRA, J. E. R. **ISO 14001**: Manual de Implantação. Rio de Janeiro: Ed. Qalitymark, 1998.

CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and Environment**, v. 225, 2000.

CHERTOW, M. R. “Unconverging” industrial symbiosis. **Journal of Industrial Ecology**, v. 1, n. 1, p. 11-30, 2007.

DELGADO, F. et al. **Carros elétricos**. Cadernos FGV energia. Rio de Janeiro, Ano 4, nº7, 2017.

DEUTZ, P. Producer responsibility in a sustainable development context: ecological modernization or industrial ecology? **The Geographical Journal**, v. 175, n. 4, 2009.

DIAS, R. **Gestão ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

DIAS, R. **Gestão ambiental**: responsabilidade social e sustentabilidade. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

DIAS, T. **Materiais sustentáveis nos automóveis**, 2013. Disponível em: <http://mecanicaonline.com.br/wordpress/2013/05/10/materiais-sustentaveis-nos-automoveis/>. Acesso em: 03 jun. 2024.

EHLKE, M. C. G. **O desenvolvimento da contabilidade ambiental em empresas certificadas pela ISO 14000 de Curitiba/PR**. Dissertação de Mestrado em Administração - Programa de Pós-Graduação em Administração. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC, 2003.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Rumo à Economia Circular**: O racional de negócio para acelerar a transição. 2015. Disponível em: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/publicacoes>. Acesso em: 06 maio 2024.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy:** Economic and business rationale for an accelerated transition. Isle of Wight: EMF, v.1, p. 7, 2012.

FABI, A.R.; ENSINAS, A.V.; MACHADO, I.P.; BIZZO, W.A. **Uso da avaliação de ciclo de vida em embalagens de plástico e de vidro na indústria de bebidas no Brasil.** Revista Brasileira de Ciências Ambientais, out. 2004.

FERREIRA, A. R.; JOÃO, D. M.; GODOY, L. P. A competitividade das organizações sob a ótica interativa de cadeias produtivas sustentáveis e ecodesign. **Anais do IV Congresso Nacional de Excelência em Gestão–CNEG**, Niterói, RJ, 2008.

FILIPPINI, R.; SALMASO, L.; TESSAROLO, P. **Product Development Time Performance:** Investigating the Effect of Interactions between Drivers. Journal of Product Innovation Management, v. 21, n. 3, p.199-214, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.0737-6782.2004.00070.x>. Acesso em: 16 abr. 2024.

FORSTER, B. Technology foresight for sustainable production in the German automotive supplier industry. **Technological Forecasting & Social Change**, v.92, p.237-248, 2015.

FORTUNSKI, B. Does the environmental management standard ISO 14001 stimulate sustainable development? An example from the energy sector in Poland. **Management of Environmental Quality:** An International Journal, v. 19, n. 2, p. 204-212, 2008.

FLEXER, V.; BASPINEIRO, C.; GALLI, C. **Lithium recovery from brines:** A vital raw material for green energies with a potential environmental impact in its mining and processing. Science of the Total Environment, v. 639, p. 1188-1204, out. 2018.

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.

GIANVINCENZI, M.; MARCONI, M.; MOSCONI, E. M.; TOLA, F. **Estrutura de ecodesign para uma gestão sustentável do ciclo de vida da bateria**, 2024. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-58094-9_9. Acesso em: 28 nov. 2024.

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

GONÇALVES, T. M.; BARROSO, A. F. F. **A economia circular como alternativa à economia linear.** Anais do XI SIMPROD, 2019. Disponível em: <http://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/12561>. Acesso em: 18 mar. 2024.

GONZALES, G. C. **Una Revisión de los Principios de la Ecología Industrial**, Nueva Época, p. 205, 2009.

GUIA QUATRO RODAS. **Dez materiais inusitados utilizados em automóveis**, 2016. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/dez-materiais-inusitados-utilizados-em-automoveis/>. Acesso em: 03 jun. 2024.

GUIMARÃES, P. S. **Práticas de green supply chain management em eco-industrial parks**: contribuições de uma revisão bibliográfica sistemática e de estudo de caso. Dissertação de Pós-Graduação (Engenharia de Produção) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18156/tde-09032016-092619/publico/DissertGuimaraesPaulaSalomaoCorrig.pdf>. Acesso em: 25 maio 2024.

GUNTHER, H. O.; KANNEGIESSER, M.; AUTENRIEB, N. The role of electric vehicles for supply chain sustainability in the automotive industry. *Journal of Cleaner Production*, v.90, p.220-233, 2015.

HAHNEL, U. J. J.; ORTMANN, C.; KORCAJ, L.; SPADA, H. What is green worth to you? Activating environmental values lowers price sensitivity towards electric vehicles. *Journal of Environmental Psychology*, v.40, p.306-319, 2014.

HOWELL, B. **Top 7 Most Polluting Industries in 2024**. Theecoexperts, 2024. Disponível em: <https://www.theecoexperts.co.uk/blog/top-7-most-polluting-industries>. Acesso em: 01 abr. 2024.

IPEA. **Agenda 2030 – ODS (Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável)**, 2018. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/8636/1/Agenda%202030%20ODS%20Metas%20Nac%20dos%20Obj%20de%20Desenv%20Susten%202018.pdf>. Acesso em: 01 abr 2024.

ITURRONDOBEITIA, M. ; AKIZU-GARDOKI, O. ; MINGUEZ, R. ; LIZUNDIA, E. **Environmental Impact Analysis of Aprotic Li-O₂Batteries Based on Life Cycle Assessment**, 2021. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.1c01554>. Acesso em: 11 out. 2024.

JELINSKI, L. W., GRAEDEL, T. E., LAUDISE, R. A., MCCALL, D. W. AND PATEL, C. K. N. **Industrial ecology**: Concepts and approaches, *Proc. Nati. Acad. Sci. USA*, Vol. 89, pp. 793-797, February 1992, Colloquium Paper.

JÚNIOR, A. M. S.; LIMA, S. F. **Ecodesign e análise do ciclo de vida**: futuro sustentável. Maceió, v. 2, 2015.

KLOPPFER, W.; GRAHL, B. *Life Cycle Assessment (LCA): A guide to best practice*. Weinheim: Wiley-VCH, 2014, 391 p.

KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. **Princípios de marketing**. Tradução Cristina Yamagami; revisão técnica Dilson Gabriel dos Santos. 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice, 2007.

LANDER, L. ; KALLITSIS, E. ; HALES, A. ; EDGE, J.S. ; KORRE, A. ; OFFER, G. **Cost and carbon footprint reduction of electric vehicle lithium-ion batteries through efficient thermal management**, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261921002518>. Acesso em: 11 out. 2024.

LANGER, E. **Aspectos do Ecodesign e do ciclo de vida do produto para o consumo consciente**. Monografia de graduação (Bacharel em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/33344>. Acesso em: 30 mar. 2024.

LARSON, P.D.; VIÁFARA, J.; PARSONS, R.V.; ELIAS, A.; **Consumer attitudes about electric cars**: Pricing analysis and policy implications. *Transportation Research Part A*, v.69, p.299-314, 2014.

LAVISSE, T. ; PANARIELLO, R. ; PERDU, F. ; ZWOLINSKI, P. ; GUO Y. ; HELU M. **Integrating an ageing model within Life Cycle Assessment to evaluate the environmental impacts of electric batteries**, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827123000537>. Acesso em: 10 out. 2024.

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

LÍTIO: Um caminho para a transição energética. Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2022. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/litio/nomundo.html>. Acesso em: 31 maio 2024.

LIU, L. **Life Cycle Assessment of a Lithium-Ion Battery Pack for Energy Storage Systems**: the environmental impact of a grid-connected battery energy storage system. 2020. Dissertação (Master's degree in Energy Systems Engineering) - Uppsala University. Estocolmo, 2020.

LOMBARDI, D. R.; LAYBOURN, P. Redefining Industrial Symbiosis. *Journal of Industrial Ecology*, v.16, n.1, p. 28–37, 2012.

LOPES, M. M. **Lítio** – Características, ocorrências, produção e uso. Monografia de graduação (Engenharia de Minas) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019. Disponível em: <https://www.eng-minas.araxa.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/170/2018/05/Morgana-de-Matos-Lopes.pdf>. Acesso em: 31 maio 2024.

LUZ, B. **Economia circular Holanda: Brasil: da teoria à prática**. 1. ed. Rio de Janeiro: Exchange 4 Change Brasil, 2017. Acesso em: 26 mar. 2024.

LUZ, D. V. D. **Desenvolvimento de produto**: Estudo de caso. Monografia de graduação (Engenharia de Produção) – Centro Universitário Univates, Lajeado, 2016. Disponível em: <https://www.univates.br/bduserver/api/core/bitstreams/de2d1bd3-0763-456f-b291-d7812c049426/content>. Acesso em: 02 jun. 2024

MAGDALON, I. M. **Valorização das Baterias de Iões Lítio em Fim de Vida de Veículos Elétricos**. Tese (Mestrado em Engenharia Automóvel) – Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Leiria, 2021. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/bitstream/10400.8/6360/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o%20sabela%20Magdalon.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

MEDINA, H. V. **A análise de ciclo de vida aplicada à pesquisa e desenvolvimento de eco materiais no Brasil**, 2005. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br>. Acesso em: 27 mar. 2014.

MEDINA, H. V.; NAVEIRO, R. M. **Eco-Design**: critérios ambientais no desenvolvimento de projetos automotivos, 2008. Disponível em: <http://www.cetem.gov.br>. Acesso em: 27 mar. 2024.

MIRANDA, B.; MORETTO, I.; MORETTO, R. **Gestão Ambiental nas Empresas**. Programa de Pós-Graduação em Administração e Programa de Pós-Graduação em Economia FEA/PUC-SP. 2019. 71f. Disponível em: <https://www.pucsp.br/sites/default/files/download/eventos/bisus/18-gestao-ambiental.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2022.

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. **Journal of Environmental Management**, v.264, p.12, jun. 2020.

MOZOTA, B. **Design Management**: Using Design to Build Br & Value & Corporate Innovation, Allowth Press, p. 145, 2003.

NASCIMENTO, C. A. M. Em busca da Ecoeficiência. **Revista Eletrônica de Administração**, vol. 6, nº 3, 15ª edição, 2000. Disponível em: http://www.read.ea.ufrgs.br/edicoes/pdf/artigo_244.pdf. Acesso em: 16 maio 2024.

NIEUWENHUIS, P.; BERESFORD, A.; CHOI, A.K.Y. Shipping or local production? CO2 impact of a strategic decision: An automotive industry case study. *Int. J. Production Economics*, v.140, p.138-148, 2012.

NTASIOU M.; ANDREOU, E. The Standard of Industrial Symbiosis. *Environmental Criteria and Methodology on the Establishment and Operation of Industrial and Business Parks*. **Procedia Environmental Sciences**, v.38, p.744–751, 2017.

OHTSUKA, R. S. **Estudo sobre os métodos de reciclagem e reutilização de baterias de lítio de carros elétricos**. Monografia de graduação (Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de São Carlos, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/16259>. Acesso em: 31 mar. 2024.

OLIVEIRA, J. A.; SILVA, D. A. L.; PUGLIERI, F. N.; SAAVEDRA, Y. M. B. **Life Cycle Engineering and Management of Products**: theory and practice. S/I: Springer Cham, 2021.

PAZMINO, A. V. Uma reflexão sobre Design Social, Eco Design e Design Sustentável. **I Simpósio Brasileiro de Design Sustentável**, Curitiba, 2007. Disponível em: <https://naolab.nexodesign.com.br/wp-content/uploads/2012/03/PAZMINO2007-DSocial-EcoD-e-DSustentavel.pdf>. Acesso em: 04 jun 2024.

PEÑA, M. L. M.; GARRIDO, E. D.; LÓPEZ, J. M. S. Analysis of benefits and difficulties associated with firms' Environmental Management Systems: the case of the Spanish automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v.70, p.220-230, 2014.

PEREIRA, D. M. A.; **Estudo do ciclo de vida do lítio em aplicações para armazenamento de energia**. Instituto Superior de Engenharia do Porto. 2022.

PINHERO, J. D. L. **Ecologia Industrial**: Um estudo sobre a viabilidade de aplicação em uma empresa metalúrgica. Monografia de graduação (Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013. Disponível em: https://www2.ufjf.br/ep//files/2014/07/2013_1_Jaqueline.pdf. Acesso em: 25 maio 2024.

PRAZANOVÁ, A.; KNAP, VI.; STROE, D. Literature Review, Recycling of Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles, Part I: Recycling Technology. **Energies**, v.15, p. 29, fev. 2022.

REY, I. ; VALLEJO, C. ; SANTIAGO, G. ; ITURRONDOBEITIA, M. ; LIZUNDIA, E. **Environmental Impacts of Graphite Recycling from Spent Lithium-Ion Batteries Based on Life Cycle Assessment**, 2021. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acssuschemeng.1c04938>. Acesso em 10 out. 2024.

REUTER, B. **Assessment of sustainability issues for the selection of materials and technologies during product design: a case study of lithium-ion batteries for electric vehicles**, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12008-016-0329-0>. Acesso em: 16 out. 2024.

RIBEIRO, T. L. **Materiais e impactos ambientais de baterias e supercapacitores em veículos elétricos**. Monografia de graduação (Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de São Paulo, São José dos Campos, 2023. Disponível em: <https://repositorio.unifesp.br/server/api/core/bitstreams/f38ce5a8-c1da-41e3-bd4a-e973926d5a85/content>. Acesso em: 26 maio 2024.

RIBEIRO, M. A. **Ecologizar**: pensando o ambiente humano. Belo Horizonte: Editora Rona, 1998.

RIBEIRO, M. S.; VELLANI, C. L. Sistema Contábil para gestão da ecoeficiência empresarial. **Revista Contabilidade & Finanças**, USP, São Paulo, vol. 20, nº 49, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-70772009000100003>. Acesso em: 15 maio 2024.

ROBERTS, B. The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: Na Australian case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 12, 2004.

ROCHA, L. C. Ecodesign no setor automotivo: o uso de materiais ecológicos em componentes de veículos leves faz diferença na intenção de compra do consumidor? Monografia de Graduação (Bacharel em Administração) – Universidade de Brasília, Brasília, 2021. Disponível em: https://bdm.unb.br/bitstream/10483/28805/1/2021_LeticiaDeCarvalhoRocha_tcc.pdf. Acesso em: 03 jun. 2024.

ROMEIRO FILHO, E.; FERREIRA, C. V.; MIGUEL, P. A. C.; GOUVINHAS, R. P.; NAVEIRO, R. M. **Projeto do Produto**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F.A.; AMARAL, D.C.; TOLEDO, J.C.; SILVA, S.L.; ALLIPRANDINI, D.H.; SCALICE, R.K. **Gestão de desenvolvimento de produtos**: uma referência para a melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SAADE, M. R. M. **Modelagem de multifuncionalidade aplicada a ACV de cimentos e concretos**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil. –Campinas, SP, 2017.

SALES, A. M. G. Modelo de processo de desenvolvimento de produtos e ciclo de vida de projetos do guia PMBOK – Uma análise comparativa. **ENEGEP**, 30., São Carlos, SP, Brasil, out. 2010. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_stp_113_739_14691.pdf. Acesso em: 01 jun. 2024.

SANDRINI, G. ; CÃ, B. ; TOMASONI, G. ; GADOLA, M. ; CHINDAMO, D. **The Environmental Performance of Traction Batteries for Electric Vehicles from a Life Cycle Perspective**, 2021. Disponível em: <https://intapi.sciendo.com/pdf/10.2478/rtuct-2021-0053>. Acesso em: 16 out. 2024.

SANTOS; A. E. N. **Simbiose industrial**: um estudo sobre a percepção de um gestor da área de reciclagem de resíduos sólidos do Ceará. Centro Universitário – FAMETRO, Maracanaú, 2020. Disponível em: http://repositorio.unifametro.edu.br/bitstream/123456789/845/1/ANT%c3%94NIO%20EDSON%20DO%20NASCIMENTO%20SANTOS_TCC.pdf. Acesso em: 26 maio 2024.

SANTOS, G. S. A indústria automobilística e o meio ambiente: uma visão sustentável. **SIMPROD**, 7., Sergipe, 2015. Disponível em: <https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/8233/2/IndustriaAutomobilisticaMeioAmbiente.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2024

SEBRAE; ONU. **Pensamento do ciclo de vida**: negócio consciente a caminho da sustentabilidade. Cuiabá, MT, 2017.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. Departamento de Ciência da Informação, 4 Ed. Florianópolis: UFSC, (138 p.), 2005.

SILVA, N. D.; OLIVEIRA, A. L. **A ecologia industrial como instrumento na busca pela sustentabilidade** – FATEC, São Paulo, Brasil, 2018. DOI: 10.31510/infa.v15i2.469. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/469/312>. Acesso em: 05 jun. 2024.

SOLEDADE, M. G. M.; FILHO, L. A. F. K. N.; SANTOS, J. N.; SILVA, M. A. M. ISSO 14000 e a gestão ambiental: uma Reflexão das Práticas Ambientais Corporativas. **ENGEMA** – Encontro Nacional Sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente, 9., Curitiba, nov., 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/26760/1/ISO%2014000%20e%20a%20Gest%20c3%a3o%20Ambiental%20uma%20reflex%20c3%a3o%20das%20pr%20a1ticas%20a mbientais%20corporativas.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2024.

SKEETE, J. P.; WELLS, P.; DONG, X.; HEIDRICH, O. HARPER, G. Beyond the Event horizon: Battery waste, recycling, and sustainability in the United Kingdom electric vehicle transition. **Energy Research & Social Science**, [S.l.], v. 69, p. 15, mai.2020.

TOUGH, R. **Plastic Shopping Bags: Environmental Impacts and Policy Options** 2007. Tese (Doutorado) -Victoria University of Wellington, New Zeland, 2007.

TURRIONI, J. B. e MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, 2012.

TREVISAN, M.; NASCIMENTO, F. N.; MADRUGA, L. R. R. G.; NEUTZLING, D. M.; FIGUEIRÓ, P. S.; BOSSLE, M. B. Ecologia industrial, simbiose industrial e ecoparque industrial: conhecer para aplicar. **Revista Eletrônica Sistemas & Gestão**, v. 11, n. 2, p. 204-215, 2016.

Ulrich, K.; Eppinger, S. **Product Design and Development**. Irwin McGraw-Hill, Boston, 2000.

URIAS, P. **Processos de Recuperação de Cobalto e de Lítio de Baterias de Íons de Lítio**. 2017. 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia. 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/26167>. Acesso em: 28 maio 2024.

SERVIÇO GEOLÓGICO DOS ESTADOS UNIDOS, USGS, (2024). **Lítio**. Disponível em: <https://pubs.usgs.gov/periodicals/mcs2024/mcs2024-lithium.pdf>. Acesso em: 19 de dez. 2024.

VALLE, C. E. **Qualidade ambiental: o desafio de ser competitivo protegendo o meio ambiente**. São Paulo: Pioneira, p. 54, 1995.

VENZKE, C. S. **Ecodesign - Projeto para o meio ambiente, Análise do Ciclo de Vida**. Programa de Pós-graduação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/slideshow/ecodesign-ciclo-de-vida/1904958>. Acesso em: 25 mar. 2024.

VIEIRA, J. H.; COSTA, M. O.; MARIANO, F. O.; SOUZA, F. A. Estudo sobre a contribuição da ecoeficiência para a melhoria do desempenho econômico das organizações conforme as publicações do CNEG nos anos de 2008 a 2013. **ENGEMA**, 2016. Disponível em: <https://engemasp.submissao.com.br/18/anais/arquivos/110.pdf>. Acesso: 18 maio 2024.

VILAÇA, P. C. Technology roadmapping (Trm) no contexto do ecode-sign: um estudo de caso da madeira plástica. **ENESEP** - Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 30., São Carlos, SP, Brasil, out. 2010. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enesep2010_tn_sto_117_764_16895.pdf. Acesso em: 28 mar. 2024.

VILELA, A.; DEMAJOROVIC, J. **Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações**. São Paulo: Senac, 2006.

WEBSTER, K. **The Circular Economy: a Wealth of Flows**. Ellen Mac Arthur Foundation, 2015. Isle of Wight.

ZHANG, C.; LIU, Y.; QIAN, Y.; BAO, H. **An optimization framework of electric Vehicle (EV) batteries for product eco-design**, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827120301797>. Acesso em: 04 dez. 2024.

ZHU, J.; MATHEWS, I.; REN, D.; LI, W.; COGSWELL, D.; XING, B.; SEDLATSCHKE, T.; KANTAREDDY, S. N.; YI, M.; GAO, T.; XIA, Y.; ZHOU, Q.; WIERZBICKI, T.; BAZANT, M. Z. End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries. **Cell Reports Physical Science**, v.2, n.8, p.26, ago. 2021.

ZHU, J.; RUTH, M. The development of regional collaboration for resource efficiency: A network perspective on industrial symbiosis. **Environment and Urban Systems**, v.44, p.37–46, 2014.

ZWOLINSKI, P.; TICHKIEWITCH, P. **An agile model for the eco-design of electric Vehicle Li-ion batteries**, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850619300356>. Acesso em: 04 dez. 2024.