



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

Trabalho efetuado sob a orientação de



**Politécnico  
de Viseu**

Escola Superior  
de Tecnologia  
e Gestão de Viseu

Trabalho efetuado sob a orientação de



*“Uma meta é um sonho com prazo.”*

*Napoleon Hill*



## **Agradecimentos**

Quero agradecer a todas as pessoas que, de diferentes formas, me ajudaram a concretizar esta etapa e estiveram presentes durante este longo e difícil percurso.

Gostaria, em primeiro lugar, de agradecer à minha família, especialmente aos meus pais, Lurdes e António, e às minhas irmãs, Diana e Mariana, pelo suporte e conselhos que me ajudaram a atingir mais um objetivo. Obrigado por todos os valores que me foram transmitidos e que foram essenciais para o meu crescimento pessoal e académico.

Um agradecimento especial à minha namorada, Marta, pelo encorajamento e por todo o apoio nos momentos mais difíceis.

Agradeço imenso aos meus orientadores, Professor Rui Carreto e Professor Paulo Vaz, por todo o apoio prestado no desenvolvimento desta dissertação e também por não desistirem de mim.

Finalmente, a todos os meus colegas de trabalho e de curso que me auxiliaram e me acompanharam nesta etapa, obrigado pelo apoio e por todos os momentos que passámos juntos.

## Resumo

Esta dissertação, intitulada "A Circularidade e a Indústria Automóvel", baseia-se na análise de como é que a evolução da economia e design circular estão a influenciar a indústria automóvel. A necessidade de evolução no campo da sustentabilidade faz com que sejam adotadas novas estratégias que são abordadas nesta dissertação. A crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental e as obrigatoriedades cada vez mais rigorosas, têm impulsionado a necessidade de repensar os processos produtivos da indústria, fazendo com que haja redução do desperdício, reciclagem de materiais e reutilização de componentes.

Durante a dissertação serão abordados temas como design sustentável, design circular, economia circular, evolução do mundo automóvel no mundo, Europa e Portugal, a influência da legislação na evolução sustentável e, por fim, um estudo de caso com foco nas marcas BMW e Tesla.

O estudo de caso procura fazer uma comparação entre duas empresas com abordagens distintas à sustentabilidade. A BMW segue o conceito "*Secondary First*", que ressalva o uso de materiais reciclados, fábricas inteligentes e parcerias estratégicas para a reciclagem de baterias. Já a Tesla adota uma estratégia verticalizada, incorporando a produção, reciclagem e reutilização de baterias nas suas *Gigafactories*, promovendo uma maior eficiência produtiva e energética.

A análise comparativa revela que, enquanto a BMW aposta na economia circular através da inovação nos materiais e na digitalização da produção, a Tesla diferencia-se pelo controlo total da cadeia de valor e pela integração de processos sustentáveis no fabrico dos seus veículos elétricos. Apesar das discrepâncias nas estratégias, ambas as marcas demonstram que a sustentabilidade e a regularidade são elementos cruciais para o futuro da indústria automóvel.

A dissertação analisa os principais desafios e oportunidades de implementação da economia circular no setor, destacando as limitações tecnológicas, os custos elevados e a necessidade de infraestruturas adequadas para a reciclagem de baterias. A economia circular não é somente uma necessidade ambiental, mas também uma estratégia competitiva indispensável para o crescimento sustentável da indústria automóvel.

**Palavras-chave:** Design circular, Economia circular, Indústria automóvel, Reciclagem, Mobilidade sustentável.

## Abstract

This dissertation, entitled 'Circularity and the Automotive Industry', is based on analysing how the economy's evolution and circular design influence the automotive industry. The need to evolve in the field of sustainability has led to the adoption of new strategies, which are addressed in this dissertation. Growing concern about environmental sustainability and increasingly stringent requirements have driven the need to rethink the industry's production processes, reducing waste, recycling materials and reusing components.

The dissertation will cover topics such as sustainable design, circular design, circular economy, the evolution of the automotive world in the world, Europe and Portugal, the influence of legislation on sustainable evolution and, finally, a case study focusing on the BMW and Tesla brands.

The case study aims to compare two companies with distinct approaches to sustainability. BMW follows the "Secondary First" concept, emphasizing the use of recycled materials, smart factories, and strategic partnerships for battery recycling. In contrast, Tesla adopts a vertical integration strategy, incorporating battery production, recycling, and reuse within its Gigafactories, promoting greater production and energy efficiency.

The comparative analysis reveals that, while BMW embraces the circular economy through material innovation and digitalized production, Tesla differentiates itself by maintaining full control over its value chain and integrating sustainable processes into the manufacturing of its electric vehicles. Despite the differences in their strategies, both brands demonstrate that sustainability and regulatory compliance are critical elements for the future of the automotive industry.

The dissertation examines the key challenges and opportunities in implementing the circular economy within the sector, highlighting technological limitations, high costs, and the need for adequate infrastructure for battery recycling. Circular economy practices are not only an environmental necessity but also a crucial competitive strategy for the sustainable growth of the automotive industry.

**Keywords:** Circular Design, Circular Economy, Automotive Industry, Recycling, Sustainable Mobility

# Índice

Introdução .....	1
Revisão bibliográfica .....	3
1. Design .....	3
a. Design Industrial .....	4
b. Design de produto .....	6
2. Design Circular .....	8
a. IDEO .....	11
b. Eco design .....	14
c. Design Sustentável .....	16
d. Design Social .....	19
e. Emissões CO <sub>2</sub> .....	21
3. Economia circular .....	22
4. Indústria Automóvel .....	31
a. Indústria automóvel no mundo .....	32
b. Indústria automóvel na Europa .....	34
c. Indústria automóvel em Portugal .....	37
5. O desafio da circularidade no setor automóvel .....	40
a. Práticas circulares adotadas na indústria automóvel .....	40
b. Reciclagem de baterias .....	41
c. Reutilização de peças .....	42
d. <i>Remanufacturing</i> .....	42
6. Legislação na Europa para a indústria automóvel .....	44
a. Influência da legislação europeia na circularidade nas empresas da indústria automóvel .....	45
b. Incentivos fiscais para a circularidade .....	46
7. Influência da circularidade na taxa de reciclagem dos veículos .....	49
a. Europa .....	49
b. Portugal .....	50
8. Desafios e limitações da circularidade .....	52
a. Limitações Económicas e Financeiras .....	52
b. Infraestruturas insuficientes e desigualdade regional .....	53
c. Desafios regulatórios e burocráticos .....	53
d. Complexidade tecnológica dos materiais .....	54
e. Falta de sensibilização e aceitação do mercado .....	54
Estudo de caso .....	55
9. Introdução .....	55
10. Enquadramento teórico .....	56
11. Apresentações das empresas em estudo e estratégias circulares .....	56
a. Tesla .....	56

b.	BMW.....	64
12.	Comparação entre a BMW e a Tesla na sustentabilidade e circularidade .....	75
a.	Estratégia de eletrificação e mobilidade sustentável .....	75
b.	Economia circular e reciclagem de materiais .....	79
c.	Reciclagem e reutilização de baterias .....	81
d.	Produção sustentável e fábricas inteligentes.....	83
13.	Desafios e oportunidades para ambas as marcas.....	85
	Conclusão .....	87
	Revisão bibliográfica .....	91

## Índice de tabelas

Tabela 1 - Design Industrial vs Design de Produto.....	6
Tabela 2 - Comparação entre modelo linear e circular. ....	26

## Índice de figuras

Figura 1- Processos do Design Industrial.....	5
Figura 2 - Fases do design de produto.....	8
Figura 3- Métodos do design circular. ....	10
Figura 4 - Princípios do Eco Design. ....	16
Figura 5 - Ciclo do modelo Cradle to Cradle (C2C). ....	18
Figura 6 - Diagrama da Economia Circular.....	23
Figura 7 - Princípios da Economia Circular. ....	24
Figura 8 - Logística inversa. ....	28
Figura 9 - Ciclo da Economia Circular. ....	30
Figura 10 - Número de veículos (em milhões) produzidos entre 2000 e 2023 no mundo. .	32
Figura 11 - Vendas globais de veículos entre 2019 e 2023. ....	34
Figura 12 - Número de veículos vendidos na Europa entre 2019 e 2023. ....	35
Figura 13 - Total de veículos produzidos por países da Europa entre 2019 e 2023. ....	36
Figura 14 - Número de veículos produzidos na Europa entre 2019 e 2023. ....	37
Figura 15 - Número de veículos produzidos em Portugal entre 2019 e 2023. ....	38
Figura 16 - Número de veículos matriculados em Portugal entre 2003 e 2023.....	39
Figura 17 - Taxa de reciclagem de veículos na Europa desde 2008 até 2022.....	49
Figura 18 - Taxa de reciclagem de veículos em Portugal desde 2008 até 2022.....	51
Figura 19 - Evolução da empresa Tesla Inc. ....	57
Figura 20 - Vista aérea da Gigafactory Nevada.....	59
Figura 21 - Habitáculo do modelo Tesla Model 3 com material sustentável. ....	62
Figura 22 - Evolução temporal da BMW. ....	65
Figura 23 - Protótipo do BMW i Vision Circular.....	70
Figura 24 - Dados de evolução de produção e vendas Tesla Inc. ....	76
Figura 25 - Dados de vendas BMW.....	76
Figura 26 - Análise de vendas da Tesla Inc. e BMW. ....	76
Figura 27 - Percentagem de material reciclado na produção de automóveis Tesla e BMW. .....	80
Figura 28 - Comparação Tesla e BMW - Reciclagem de baterias. ....	82
Figura 29 - Comparação Tesla e BMW - Produção sustentável e fábricas inteligentes. ....	84
Figura 30 - Interligação com o objeto de estudo.....	89

## Lista de Siglas / Abreviaturas

<b>IDSA</b>	<i>Industrial Designers Society of America</i>
<b>LCA</b>	<i>Life Cycle Assessment</i>
<b>ODS</b>	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
<b>C2C</b>	<i>Cradle to Cradle</i>
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono
<b>GEE</b>	Gases de Efeito Estufa
<b>UNEP</b>	<i>United Nations Environment Programme</i>
<b>GHG</b>	<i>Greenhouse Gas Protocol</i>
<b>WRI</b>	<i>World Resources Institute</i>
<b>WBCSD</b>	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
<b>IRENA</b>	<i>International Renewable Energy Agency</i>
<b>HCD</b>	<i>Human Centered Design</i>
<b>ONGs</b>	Organizações Não Governamentais
<b>IoT</b>	<i>Internet of Things</i>
<b>IEA</b>	<i>International Energy Agency</i>
<b>OICA</b>	<i>Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles</i>
<b>PIB</b>	Produto Interno Bruto
<b>R&amp;D</b>	<i>Research and Development</i>
<b>AFIA</b>	Associação de Fabricantes para a Indústria Automóvel
<b>REN</b>	Redes Energéticas Nacionais
<b>OMIE</b>	Operador do Mercado Ibérico de Energia
<b>IISI</b>	<i>International Iron and Steel Institute</i>
<b>BOF</b>	<i>Basic Oxygen Furnace</i>
<b>EAF</b>	<i>Electric Arc Furnace</i>
<b>OHF</b>	<i>Open-Hearth Furnace</i>
<b>ASG</b>	Ambiental, Social e de Governação
<b>VE</b>	Veículos Elétricos
<b>CEO</b>	<i>Chief Executive Officer</i>
<b>EPR</b>	<i>Extended Producer Responsibility</i>
<b>ERN</b>	<i>European Remanufacturing Network</i>
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de Azoto
<b>PM</b>	Partículas Suspensas
<b>CO</b>	Monóxido de Carbono
<b>HC</b>	Hidrocarbonetos
<b>ELV</b>	<i>End-of-Life Vehicles</i>
<b>ECHA</b>	<i>European Chemicals Agency</i>
<b>ADAS</b>	<i>Advanced Driver Assistance System</i>
<b>WLTP</b>	<i>Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure</i>
<b>RDE</b>	<i>Real Driving Emissions</i>
<b>REACH</b>	<i>Registration, Evaluation, Authorisation and Restrictions of Chemical</i>
<b>PMEs</b>	Pequenas e Médias Empresas
<b>PPPs</b>	Parcerias Público-Privadas
<b>IA</b>	Inteligência Artificial
<b>FSD</b>	<i>Full Self-Driving</i>
<b>OTA</b>	<i>Over-The-Air</i>
<b>BEV</b>	<i>Battery Electric Vehicle</i>
<b>PHEV</b>	<i>Plug-in Hybrid</i>

# Introdução

A transição para um modelo de economia circular tem ganhado cada vez mais importância no setor automóvel, impulsionada por desafios ambientais, atualização nas legislações e uma mudança de paradigma na forma como os recursos são utilizados. Durante muitos anos, a indústria automóvel trabalhou num modelo linear, onde os recursos eram coletados, produzidos, usados e descartados. Entretanto, a crescente preocupação com a sustentabilidade ambiental, as emissões de CO<sub>2</sub> e a carência de recursos naturais levaram a um esforço global para adotar práticas mais eficientes e sustentáveis.

A economia circular é uma solução indispensável para diminuir o impacto ambiental da indústria automóvel, incentivando a reciclagem de materiais, a reutilização de componentes e a redução de desperdícios ao longo do ciclo de vida dos veículos. Nesse cenário, as empresas de automóveis têm sido desafiadas a repensar os seus processos produtivos e a criar novas táticas para diminuir a sua pegada ecológica.

Aqui analisam-se as abordagens adotadas por duas das marcas que têm investido na sustentabilidade e mobilidade elétrica: BMW e Tesla. Estas empresas têm adotado estratégias distintas para a implementação da economia circular, refletindo diferentes modelos de negócio e prioridades na transição para uma indústria mais sustentável.

A BMW, uma empresa com longa história na indústria automóvel, tem apostado numa abordagem progressiva, combinando a produção de veículos elétricos com um esforço constante para diminuir o impacto ambiental dos seus processos produtivos. A empresa adotou o conceito "Secondary First", que incentiva o uso de materiais reciclados e renováveis, tem investido na reciclagem de baterias, no design modular dos veículos e na digitalização das fábricas para aumentar a eficiência produtiva.

Entretanto, desde a sua fundação, a Tesla optou por uma abordagem focada exclusivamente na mobilidade elétrica, resultando num modelo altamente verticalizado e integrado. As Gigafactories são um exemplo de produção sustentável e eficiente, controlando todas as etapas da produção, desde a extração de materiais até a reciclagem de componentes. Também se destaca pelo compromisso com a reciclagem de baterias e a reutilização de módulos em soluções de armazenamento de energia, reduzindo a dependência de novos recursos naturais.

O objetivo desta dissertação é compreender como a economia circular é e será aplicada na indústria automóvel, analisando as estratégias implementadas pela BMW e pela Tesla. Serão abordados temas como design sustentável, produção circular e reutilização de materiais, e quais são os problemas e oportunidades dessas empresas em adotar práticas mais ecológicas.

Esta dissertação divide-se em várias secções. Na revisão bibliográfica, são apresentados os principais conceitos que influenciam a transição para um modelo de economia circular no setor automóvel. Segue-se uma análise aprofundada da indústria automóvel mundial, europeia e portuguesa, explorando o impacto das regulamentações ambientais e a evolução do mercado de veículos elétricos. Em seguida, realiza-se um estudo de caso sobre a BMW e a Tesla, visando analisar as suas estratégias de reciclagem, reutilização de baterias, produção sustentável e inovação tecnológica. Com base nessa avaliação, é realizada uma comparação entre as duas empresas, identificando similaridades e discrepâncias nas suas abordagens à economia circular.

Por último, a dissertação aborda os principais obstáculos e oportunidades para o futuro da indústria automóvel, analisando como a economia circular pode ser expandida para assegurar uma transição eficiente e sustentável. Com esta pesquisa, pretende-se contribuir para uma melhor compreensão da relevância da circularidade na indústria automóvel, demonstrando como diferentes abordagens podem levar à criação de um setor mais eficiente, ecológico e alinhado com as obrigações ambientais do século XXI.

# Revisão bibliográfica

## 1. Design

O Design é uma disciplina criativa e estratégica que envolve a concepção e a configuração de produtos, serviços, ambientes, comunicações e experiências visando atender às necessidades e expectativas dos utilizadores e/ou clientes (Melo & Abelheira, 2015).

A metodologia do design não se limita apenas à estética visual, mas também considera a funcionalidade, a eficiência e, cada vez mais, a sustentabilidade. Envolve a criação de soluções inovadoras e a consideração de diversos elementos, como forma, cor, material, ergonomia e comunicação. O design desempenha um papel crucial na vida quotidiana, influenciando a maneira como interagimos com o mundo ao nosso redor. Seja na criação de logótipos, na concepção de produtos inovadores, no planeamento de espaços eficientes ou na otimização de interfaces digitais. O design é uma disciplina multifacetada que procura aprimorar a qualidade e a experiência de vida das pessoas (Ünal et al., 2018).

Design é uma função, um recurso e uma maneira de pensar dentro das organizações que pode ser ativo no pensamento estratégico, nos processos de desenvolvimento e, fundamentalmente, na implementação de projetos de sistemas e serviços (Best, 2006).

Vários autores apresentam diversos significados para o conceito de design, no entanto, todos concluem as suas ideias com o fundamento de que este conceito não se limita à concepção de produtos e ao seu aspeto visual. É muito mais do que isso, design é um método de resolução de problemas do dia-a-dia. Por isso, podemos dizer que o design é uma ferramenta de transformação humana e social (Mozota, 2011).

O design apresenta-nos várias disciplinas, de entre as quais, o Design de Produto, o Design Industrial, Design Circular, Eco Design, Design Sustentável, etc. Estas três disciplinas irão ser analisadas durante esta dissertação de mestrado.

## **a. Design Industrial**

O design industrial como disciplina surgiu da Revolução Industrial, que introduziu novos materiais e a produção em massa de bens. À medida que os processos de fabricação e os materiais evoluíram, produtos que antes eram feitos por artesãos individuais agora podiam ser produzidos rapidamente e em grande escala (Krishnan & Ulrich, 2001).

Para satisfazer as necessidades de inúmeras pessoas que utilizam um produto, o seu design precisa abordar a funcionalidade, estética, ergonomia, durabilidade, facilidade de fabrico, custo e comercialização. A Sociedade Americana de Design Industrial (IDSA) descreve a função dos designers industriais não apenas na estética de um produto, mas também "na sua funcionalidade, fabrico e, em última análise, no valor e experiência que proporciona aos utilizadores"(Best, 2006).

Diversas teorias e movimentos influenciaram e moldaram o que hoje é conhecido como design industrial. Desde as suas abordagens iniciais, o design industrial equilibrou as tensões entre forma e função, máquina e experiência humana. No final do século XIX, o arquiteto Louis Henry Sullivan destacou a transição das artes decorativas para o modernismo, declarando que "a forma segue a função" (Bonaparte, 2019). Este princípio fundamental do modernismo influenciou uma nova linguagem de design que enfatizava geometria, precisão, simplicidade e economia no design de produtos. Uma escola influente que surgiu do modernismo foi o movimento Bauhaus na Europa, que incluía arquitetos e designers-chave como Ludwig Mies, Van der Rohe e Marcel Breuer. O Bauhaus procurou unificar arte, artesanato e tecnologia, resultando em princípios de design que poderiam ser aplicados a qualquer produto (Ulrich et al., 2020).

De acordo com (Ulrich et al., 2020), “ a maioria das grande empresas têm um departamento de design industrial, já as mais pequenas optam por subcontratar esses serviços”. Estas equipas estão envolvidas em processos que apresentam seis fases distintas:

1. Investigação do que o consumidor necessita;

Esta fase caracteriza-se pela realização de um estudo de mercado para a equipa perceber quais são as reais necessidades do consumidor e como pode tornar o processo de conceção do produto rentável e produtivo.

2. Conceptualização;

A equipa de designers industriais, nesta fase, é responsável pela criação de pequenos protótipos pouco dispendiosos, com o objetivo de ter uma ideia inicial do que será o produto a produzir.

3. Refinamento preliminar;

Aqui, são construídos modelos com as dimensões reais do projeto com produtos de baixo

custo, apenas para que a equipa tenha uma ideia do que será o produto e verificar se é necessário repensar algum aspeto.

4. Últimos refinamentos e escolha do produto final;

Nesta fase são melhorados os últimos aspetos e é realizado um protótipo do produto final com as dimensões reais.

5. Controlo dos desenhos do (s) modelo (s);

Aqui, a equipa, é responsável pela realização dos desenhos finais do produto, depois de ter o produto final a produzir fechado. Nesta fase são realizados vários protótipos para que possam ser testados.

6. Coordenação com os diversos departamentos;

Nesta fase, o produto já se encontra no mercado e os feedbacks dos utilizadores são tidos em conta para que este seja aprimorado consoante as necessidades dos utilizadores, aumentando assim a probabilidade de um bom resultado de vendas.

Todos estes processos, bem executados, levam a que o retorno financeiro do produto seja acima da média (Figura 1).

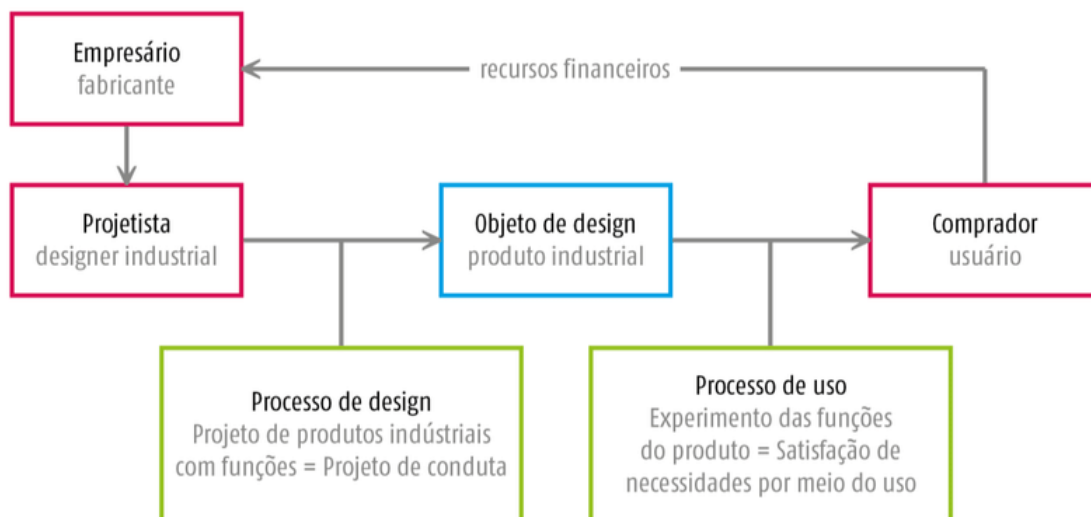


Figura 1- Processos do Design Industrial.  
Fonte: Adaptado de (Buso & Martins, 2012).

Henry Dreyfuss enumera cinco pontos importantes que os designers industriais devem ter em consideração aquando a conceção de um novo produto para que este atinja todos os objetivos:

1. Utilidade;
2. Aparência;
3. De manutenção fácil;
4. Baixo custo;
5. Demonstrar o visual da empresa.

Todos os produtos do mercado podem ser melhorados com um correto design industrial. Os

produtos que são considerados bons para a maioria dos utilizadores apresenta um bom design industrial, por isso, podemos concluir que este processo / estudo está diretamente ligado com a satisfação do cliente final (Dreyfuss, 1967).

## **b. Design de produto**

O design de produto é uma disciplina do design concentrado no desenvolvimento e aprimoramento estético, funcional e ergonómico de produtos físicos. Essa área abrange desde objetos simples do quotidiano até dispositivos mais complexos, integrando aspetos como forma, função, utilização, materiais, conceção e sustentabilidade (Costa, 2021).

Contrastando com o design industrial, o design de produto foca-se apenas e só na melhor experiência do utilizador final, pode-se verificar as grandes diferenças entre ambos na Tabela 1.

*Tabela 1 - Design Industrial vs Design de Produto.  
Adaptado de (Sudarshancadd, 2024).*

	<b>Design Industrial</b>	<b>Design de Produto</b>
<b>Objetivo</b>	Experiência do utilizador, utilização e comercialização	Funcionalidade, ergonomia e estética
<b>Processos</b>	Pesquisa, desenvolvimento de conceito, prototipagem	Pesquisa, prototipagem, teste
<b>Tipo de produção</b>	Produção em larga escala	Produção em menor escala, personalização, mercados de nicho
<b>Colaboração</b>	Engenheiros, fabricantes	Equipas de marketing, experiência do utilizador
<b>Regulamentação</b>	Normas industriais rigorosas	Flexibilidade, conformidade com a segurança do utilizador

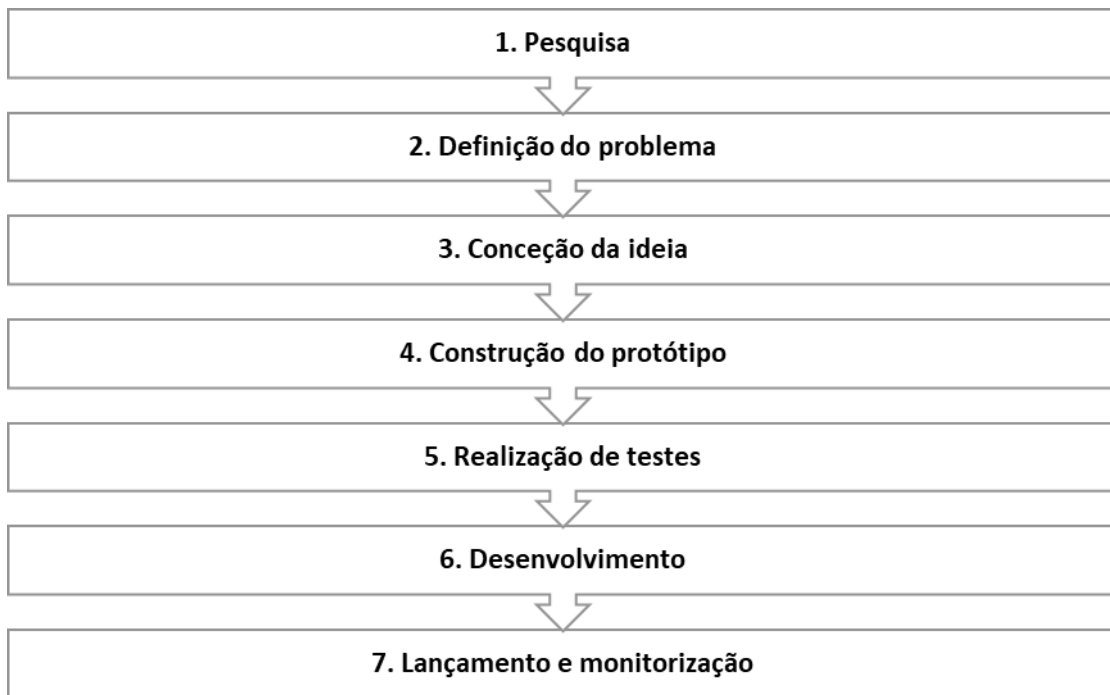
Ulrich e Eppinger afirmam que o design de produto é um processo que envolve desde a definição do conceito até a produção final (Ulrich et al., 2020). Segundo os autores, esse processo vai além da estética e abrange todas as fases do desenvolvimento e posicionamento de um produto no mercado. Esse entendimento é importante para a disciplina ser reconhecida não só como um instrumento de beleza estética, mas como uma prática estratégica que agrega valor ao produto e à marca.

Outro aspecto fundamental do design de produto é o foco na utilização e na experiência do utilizador. O autor Norman, destaca que o design de produto deve ser centrado em quem vai utilizar o produto, projetado depois de uma profunda análise das necessidades e das limitações dos utilizadores (Norman, 1988). Essa perspectiva é crucial para o design contemporâneo, que procura oferecer soluções intuitivas e agradáveis, que aprimorem a experiência do utilizador e agilizam a interação entre o objeto e o ser humano.

Esta disciplina deve considerar tanto a funcionalidade quanto o impacto social e ambiental das suas criações. Um dos pioneiros na defesa de um design ético e responsável, argumenta que “o design deve ser uma resposta às necessidades reais das pessoas, e não apenas aos desejos superficiais gerados pelo consumo” (Papanek, 1985). Papanek defende que o design de produtos deve ser orientado por uma ética que considere o bem-estar de todos os utilizadores e o meio ambiente, oferecendo soluções sustentáveis que aumentem o impacto ambiental.

O design de produto é uma prática de inovação aplicada, onde a compreensão do contexto e do comportamento do utilizador é fundamental. O propósito do design de produtos é criar itens que atendam satisfatoriamente às exigências de funcionalidade, durabilidade, segurança e estética (Baxter, 2021). Este processo requer uma cooperação interdisciplinar, uma abordagem analítica e criativa que permita ao designer encontrar soluções para os problemas de forma eficiente e empática. Ou seja, esta disciplina vai além da criação de objetos e/ou serviços, requer uma abordagem sistemática e criativa para resolver problemas, alinhar interesses de mercado e criar soluções (Sousa, 2009).

Design é um processo que transforma ideias em produtos que atendem às necessidades dos utilizadores e às necessidades do mercado. Embora a metodologia utilizada possa variar, inclui geralmente as etapas mostradas na figura 2.



*Figura 2 - Fases do design de produto.  
Fonte: Adaptado de (Krishnan & Ulrich, 2001)*

Atualmente, são considerados fatores sustentáveis que tornem o produto equilibrado na relação entre impacto ambiental, eficiência de recursos e ciclo de vida. É assegurado que os materiais utilizados sejam renováveis ou recicláveis, bem como que os processos de produção reduzam os resíduos e emissões prejudiciais. Chama-se Design Circular.

O design de produto e o design circular seguem princípios para práticas sustentáveis e eficientes em termos de recursos. Atualmente, cada vez é mais necessário ter uma atenção especial ao design de um produto. Este tipo de design, atualmente, deve ser aprimorado para melhor se adequar aos princípios do design circular, contribuindo para um ambiente mais sustentável e eficiente em termos de recursos. É importante ter uma abordagem integrada para lidar com problemas ambientais e económicos relacionados ao ciclo de vida dos produtos (Iberdrola, 2021).

## **2. Design Circular**

O célebre princípio de Lavoisier (1743-1794) “Na Natureza nada se cria, nada se perde, tudo se transforma” pode ser utilizado como conceito fundamental do design circular. Os designers de hoje não podem apenas preocupar-se com as características estéticas e de funcionalidade dos produtos. É fundamental pensarem também, a nível ecológico, qual o seu destino após utilizados (Carreto & Carreto, 2018).

Tal como explica Tim Brown, diretor-executivo da empresa de design norte-americana

IDEO é um dos principais impulsores do design *thinking*, o desenho circular implica conceber os produtos e os seus componentes desde o início com uma mentalidade circular. Por exemplo, no caso de um aparelho tecnológico, consistiria em pensar desde o início como recircular os materiais mais valiosos que estes contém, de maneira que seja possível reaproveitá-los de diferentes formas, uma vez terminada a vida útil do aparelho (MacArthur, 2017).

Conforme o *The Circular Design Guide*, uma iniciativa da Fundação MacArthur junto à empresa de design IDEO, os passos a seguir aquando a realização de um novo projeto ou melhoria de um já existente utilizando a metodologia do design circular são os seguintes (Iberdrola, 2021):

- Entender
  - Obter informações sobre as diferentes soluções de design circular e alcançar uma compreensão mais profunda sobre como se pode passar do pensamento linear ao circular.
- Definir
  - Articular um desafio, encontrar as oportunidades para tornar um processo circular, tanto no começo de um projeto como também em algum já existente que está a ser revisto, e estabelecer metas.
- Fazer
  - Compreender as necessidades dos utilizadores, partilhar ideias, desenvolver conceitos, torná-los tangíveis com a construção de protótipos e testá-los.
- Lançar
  - Colocar o conceito no mercado com o fim de recolher informações, e ou conclusões, que permitam fazer com que o produto ou serviço evolua gere as mudanças necessárias.

Todos os passos acima estão descritos na figura 1.



Figura 3- Métodos do design circular.  
 Fonte: Adaptado de (Iberdrola, 2021).

O público-alvo condiciona e orienta a tenacidade e a durabilidade de cada projeto, sendo pertinente definir qual o objetivo e qual a mensagem do projeto, pois, numa orientação de circularidade, o produto/serviço fecha o círculo em última instância se responder a estas premissas. As funções que devem ter o produto/serviço, numa fase inicial, permitem incorporar os preceitos de uma economia circular (Carreto & Carreto, 2018).

O design circular surge como uma proposta inovadora no campo do design e da sustentabilidade, desafiando os modelos lineares tradicionais de produção e consumo. Este conceito integra estratégias regenerativas para prolongar a vida útil dos materiais e produtos, minimizando os impactos ambientais e maximizando o valor gerado.

Esta metodologia precisa de procedimentos robustos e abordagens inovadoras que unam sustentabilidade e funcionalidade. A circularização não é somente uma teoria, mas um guia prático para transformar cadeias de valor, produtos e serviços em sistemas regenerativos que beneficiem o meio ambiente, a economia e a sociedade. Para isso, é preciso ter organizações e práticas que tornem a visão uma realidade.

Nesse contexto, surge a IDEO, uma empresa global que mudou a forma como entendemos o design, sobretudo por meio da sua abordagem centrada no ser humano e da sua capacidade de aplicar o *design thinking* a problemas complexos. Esta tem-se destacado como uma catalisadora de práticas sustentáveis e circulares, auxiliando empresas, governos e comunidades a integrar os princípios da economia circular nas suas atividades e projetos.

## a. IDEO

A IDEO é uma das empresas mais influentes e com maior reputação no campo do design e da inovação. Reconhecida pelo papel crucial na transformação de como o design é utilizado para solucionar problemas complexos e criar impactos positivos. Fundada em 1991 por David Kelley, Bill Moggridge e Mike Nuttall, a IDEO surgiu da fusão de três empresas de design e rapidamente se tornou uma referência global na aplicação do design centrado no ser humano e no planeta. A abordagem da empresa combina criatividade, empatia e estratégias orientadas por dados para oferecer soluções inovadoras em diversos setores, como tecnologia, saúde, sustentabilidade e educação (Brown, 2009).

Essa metodologia é bastante conhecida por difundir o conceito de design thinking, uma técnica que se propõe a resolver problemas com base na empatia e no envolvimento colaborativo de diversas disciplinas. Para David Kelley, "o design *thinking* é uma abordagem prática e criativa para resolver problemas que combina o melhor do raciocínio analítico e intuitivo" (Kelley & Kelley, 2013). Essa abordagem permitiu a redefinição do papel do design, colocando-o como uma ferramenta estratégica para empresas e organizações em todo o mundo.

A IDEO, uma das empresas mais inovadoras no campo do design, construiu a sua reputação a partir de uma abordagem única e sistemática para resolver problemas complexos. Essa ideia é baseada em três coisas: design focado no ser humano, trabalho em equipa e melhoria constante com prototipagem rápida. Esses princípios auxiliam a empresa a trabalhar com outras organizações em diferentes áreas, como tecnologia, saúde, educação e sustentabilidade.

Os três pilares refletem a filosofia central da empresa: o design deve ser funcional, significativo e empático, colocando as necessidades dos utilizadores como centro de todas as soluções. A integração de equipa e a melhoria contínua garantem que as ideias sejam testadas e aprimoradas antes de serem implementadas. Essa abordagem inovadora permite que a IDEO crie produtos e serviços que não só resolvam problemas, mas também transformem a experiência dos utilizadores e impactem positivamente nas comunidades.

### 1. Design Centrado no ser humano

Este princípio coloca as pessoas no centro de todas as decisões de design. A empresa acredita que compreender profundamente as necessidades, desejos e comportamentos dos utilizadores é o ponto de partida para criar soluções relevantes e eficazes. Isso significa que, antes de projetar qualquer produto, serviço ou sistema, esta procura:

- **Empatia (compreensão emocional e cognitiva):** É crucial "colocar-se no lugar do utilizador" para entender as suas necessidades, motivações e expectativas. Por

exemplo, num projeto de saúde, os designers da IDEO podem passar tempo a observar e entrevistar pacientes e médicos para identificar desafios e oportunidades específicas.

- **Pesquisa de campo:** técnicas como observação, entrevistas e criação de personagens de teste para mapear as experiências reais dos utilizadores.
- **Soluções significativas:** com base nesses dados, os produtos e serviços são projetados para não apenas atender a necessidades funcionais, mas também gerar conexão emocional. Como resultado, esta cria soluções que se destacam pela fácil utilização e relevância cultural.

Exemplo: No design do primeiro rato da *Apple*, a IDEO não apenas projetou um dispositivo funcional, mas também garantiu que ele fosse intuitivo e confortável para todos os utilizadores (Brown, 2009).

## 2. Colaboração Interdisciplinar

A colaboração é um dos valores fundamentais. Esta empresa acredita que a melhor forma de abordar problemas complexos é reunir pessoas com diversas habilidades, como designers, engenheiros, analistas de dados, consultores estratégicos e especialistas noutras áreas. Esse ambiente interdisciplinar promove a criação de soluções mais ricas e inovadoras, pois estes apresentam:

- **Perspetivas diversificadas:** cada especialista traz um ponto de vista único, o que ajuda a identificar oportunidades e prever problemas que um único campo de atuação poderia ignorar.
- **Resolução abrangente:** A combinação de diferentes disciplinas garante que tanto os aspetos técnicos (como viabilidade de engenharia) quanto os aspetos humanos (como utilização e impacto social) sejam considerados.
- **Inovação colaborativa:** essa interação entre áreas promove a experiência e a troca de ideias, o que é essencial para explorar novas possibilidades.

Exemplo: Num projeto para a saúde pública, a IDEO reuniu profissionais de design gráfico, médicos e especialistas em comportamento humano para criar uma plataforma que melhorasse a comunicação entre pacientes e hospitais (Brown, 2009).

## 3. Melhoria Contínua e Prototipagem

A prototipagem é um processo essencial na metodologia da empresa, pois permite que ideias sejam testadas, refinadas e ajustadas antes de serem implementadas. Esse pilar é baseado em dois conceitos principais:

1. **Melhoria contínua:** Nenhuma ideia nasce perfeita. A IDEO acredita que é importante

começar com algo simples e depois aprimorá-lo com base no feedback. A cada teste, o produto ou solução torna-se mais eficaz e alinhado com as necessidades reais dos utilizadores.

2. **Prototipagem rápida:** Realizar protótipos é transformar ideias abstratas em algo tangível, seja um modelo físico, um esboço ou um software funcional. Isso facilita:
  - o Identificar problemas ou limitações desde cedo.
  - o Receber feedback dos utilizadores reais antes de avançar para estágios finais de produção.

Tim Brown, CEO da IDEO, descreve a prototipagem como "uma mentalidade que permeia todo o design *thinking*". Isso significa que, mais do que uma etapa, a prototipagem é uma forma de pensar que prioriza a experiência e a aprendizagem fazendo (Brown, 2009).

Exemplo: Ao projetar uma nova cadeira ergonômica é necessário criar múltiplos protótipos com ajustes mínimos (como ângulos ou materiais) para testar com utilizadores antes de chegar ao design final (Ulrich et al., 2020).

Os três pilares não são independentes, mas interligados. Um projeto típico da IDEO pode começar com a empatia com o utilizador, passar pela colaboração interdisciplinar para gerar ideias diversificadas e avançar para a prototipagem, onde todas as ideias são testadas e melhoradas. Essa abordagem permite-lhe criar soluções que não apenas resolvem problemas, mas também transformam a experiência dos utilizadores.

Esta empresa é reconhecida pela abordagem inovadora e centrada no ser humano, desempenha um papel diferenciador no design contemporâneo, contribuindo significativamente em três áreas-chave: o design de produtos e funcionais, a disseminação do design *thinking* como ferramenta estratégica e a promoção da sustentabilidade por meio da economia circular. Essas frentes de atuação destacam-na combinando a criatividade, empatia e inovação para encontrar soluções que melhorem o estilo de vida dos utilizadores sem afetar o desenvolvimento sustentável do planeta (Brown, 2023).

Ela tornou-se uma boa parceira para mudar o mundo, ajudou a formar profissionais e transforma grandes empresas, sempre pensando em sustentabilidade e inovação. A variedade de atividades da empresa demonstra a capacidade de usar o design como um catalisador para resolver problemas em escala global, abrangendo áreas como tecnologia, saúde, economia circular e educação.

Com a sua abordagem centrada no ser humano e o uso de técnicas como o design *thinking*, ela promove soluções práticas e criativas que têm um impacto positivo em comunidades e organizações. Além disso, iniciativas como o Circular Design Guide, em conjunto com a Fundação Ellen MacArthur, reforçam a relevância da empresa como líder na

integração de práticas sustentáveis em processos de design e negócios. A sua influência vai além do desenvolvimento de produtos, moldando comportamentos, modificando culturas organizacionais e ajudando empresas e governos a adotarem modelos regenerativos e inovadores.

A IDEO pode-se adaptar às necessidades atuais, o que a torna uma referência global na criação de soluções que alinham criatividade, impacto social e sustentabilidade. Esta exemplifica como o design pode ser mais do que estética e funcionalidade, tornando-se uma ferramenta estratégica para enfrentar os desafios globais contemporâneos. A abordagem centrada no ser humano, a inovação e o compromisso com a sustentabilidade redefinem o design em diversos setores. Não se trata somente de uma empresa de design, mas também de um catalisador de mudanças sistemáticas, demonstrando como a criatividade e a empatia podem transformar produtos, organizações e sociedades inteiras.

## **b. Eco design**

O eco design, também chamado de design ecológico ou design ambientalmente responsável, integra princípios de sustentabilidade em todas as fases do ciclo de vida de um produto ou sistema. Ao contrário do design tradicional, que prioriza funcionalidade e beleza, o eco design se concentra na diminuição de danos ambientais e maximiza a eficiência no uso de recursos. De acordo com Vezzoli e Manzini, o eco design é uma técnica que propõe soluções sustentáveis sem comprometer as necessidades das gerações futuras, unindo responsabilidade ambiental, eficiência econômica e inovação social (Vezzoli & Manzini, 2008).

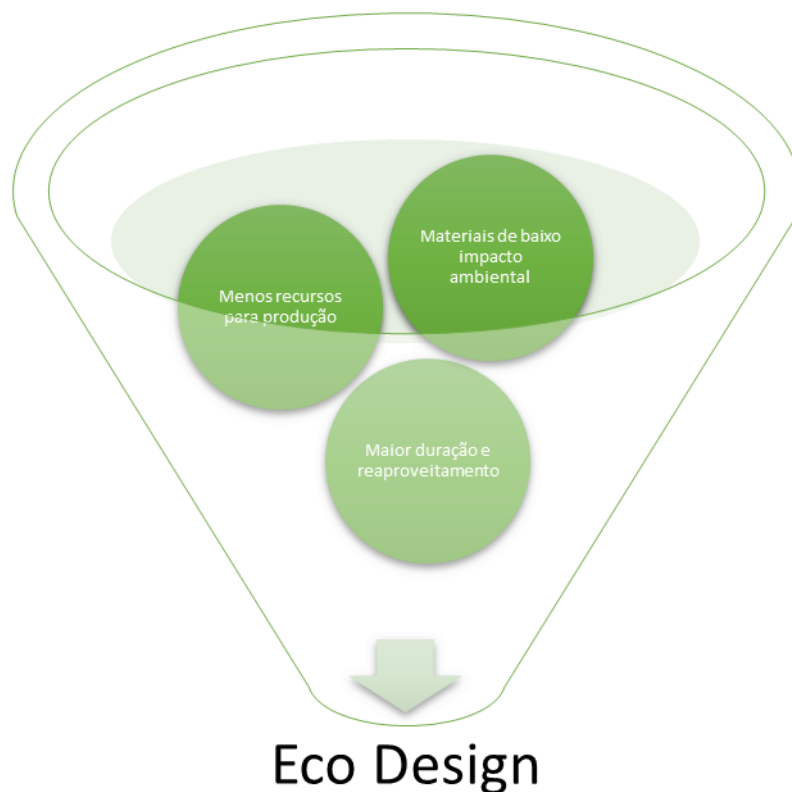
Um dos fundamentos centrais do eco design é a eficiência no uso de recursos, principalmente materiais reciclados, renováveis ou biodegradáveis. Essa escolha ajuda a evitar que o meio ambiente seja prejudicado. Ademais, o design ecológico incentiva a avaliação do ciclo de vida dos produtos (*LCA - Life Cycle Assessment*), que analisa os impactos ambientais desde a obtenção dos recursos naturais até o término da sua vida útil. Essa avaliação possibilita identificar os pontos críticos do processo produtivo e orientar decisões de design que diminuam as emissões de carbono, o consumo de energia e a geração de resíduos (Cicconi, 2020). Outro ponto crucial do eco design é o foco na durabilidade e facilidade de reparação dos produtos. Ao contrário dos modelos lineares que incentivam o consumo e o descarte rápido, o eco design valoriza soluções que prolongam a vida útil dos produtos, facilitam a manutenção e facilitam a modularidade. Isso demonstra uma aproximação ao modelo de economia circular, no qual os materiais permanecem em uso pelo maior tempo possível, retornando ao ciclo produtivo em sistemas regenerativos. Empresas, como a Philips, têm

adotado práticas de ecodesign em eletrodomésticos energeticamente eficientes (Philips, 2020), enquanto marcas como a *Patagonia* aplicam o princípio da durabilidade nas suas coleções de roupas, utilizando materiais reciclados (Michel et al., 2017).

Embora os benefícios do eco design sejam amplamente reconhecidos, a sua implementação enfrenta desafios significativos. O custo de implementação elevado é uma das principais barreiras, já que o desenvolvimento de materiais inovadores e a adaptação de processos produtivos são obrigatoriamente resultados de um grande investimento. Além disso, a falta de infraestruturas, como sistemas de logística inversa (empresas que tratam os resíduos da indústria), dificulta a reciclagem e o reaproveitamento de materiais em muitos países. As barreiras culturais também representam um obstáculo, visto que tanto consumidores quanto indústrias podem resistir à mudança para práticas sustentáveis devido a custos mais altos e à preferência por soluções convencionais (Knight & Jenkins, 2009), temos com exemplo nos Estados Unidos da América com que, com a governação de Donald Trump, descarta o acordo de Paris.

Ainda assim, os benefícios do eco design superam os desafios. Este promove a redução de emissões de gases de efeito estufa, a diminuição do consumo de água e energia e a geração de menos resíduos. Do ponto de vista económico, o eco design cria oportunidades de mercado para produtos sustentáveis e inovadores, enquanto socialmente contribui para a consciencialização ambiental e fomenta a geração de empregos verdes. Essas vantagens destacam o eco design como um motor de transformação, tanto para a sociedade quanto para a indústria (Tukker et al., 2001), nos dias que correm, a preocupação ambiental é vista como prioridade, pois, as alterações climáticas fazem-se sentir, alterações estas resultado de más gestões sustentáveis.

Em síntese, o eco design não é apenas uma ferramenta técnica, mas também um compromisso ético / estratégico com a sustentabilidade. Proporciona soluções que beneficiam o planeta e as gerações futuras, destacando-se como uma abordagem inovadora para enfrentar os desafios ambientais contemporâneos, esta abordagem peca por tardia em toda a indústria. Para que o eco design alcance todo o seu potencial, é essencial investir em pesquisa, educação e políticas públicas que incentivem práticas sustentáveis. Dessa forma, o eco design não apenas mitiga impactos negativos, mas também se consolida como um catalisador de regeneração e inovação (Cicconi, 2020), a formação e educação são capazes de mudar o mundo e se houver um investimento considerável nessa área social daqui a uns anos a sustentabilidade deixa de ser uma miragem, mas sim, uma certeza..



*Figura 4 - Princípios do Eco Design.  
Fonte: Adaptado de (Bollentini, 2019)*

A figura 4 mostra os três princípios do eco design, que são: a duração, a eficiência no uso de recursos e a escolha de materiais sustentáveis, elementos fundamentais para minimizar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos (Vezzoli & Manzini, 2008).

O eco design representa um marco essencial na integração da sustentabilidade no campo do design, oferecendo soluções práticas para minimizar os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida dos produtos. É nesse contexto que o design sustentável se destaca como uma evolução natural do eco design, torna-o cada vez mais importante o objetivo das preocupações ecológicas. O design sustentável incorpora questões como igualdade social, economia regenerativa e impacto positivo nas comunidades. Promovendo um equilíbrio entre as necessidades do ser humano e a capacidade de sustentabilidade do planeta.

### **c. Design Sustentável**

O design sustentável é mais do que uma abordagem prática, este representa uma mudança radical no campo do design, com bases na necessidade urgente de alinhar as atividades humanas com os limites planetários e as necessidades das futuras gerações. Esta metodologia de design une a responsabilidade ambiental com a inovação social e econômica, promove soluções que não apenas mitigam impactos negativos, mas também criem benefícios regenerativos. Esta abordagem está profundamente conectada aos Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS), que nos obrigam a mudanças profundas nos modos de produção e consumo, bem como na forma de como as comunidades interagem com os recursos naturais. O design sustentável deve ser visto como um instrumento estratégico capaz de harmonizar desenvolvimento humano e preservação ambiental (Vezzoli & Manzini, 2008).

Um dos aspetos mais relevantes do design sustentável é a sua capacidade de integrar diferentes dimensões da sustentabilidade. No campo ambiental, este promove o uso eficiente de recursos, priorizando materiais renováveis, reciclados e biodegradáveis (Bergman, 2013). Além de considerar o impacto ambiental em todas as fases do ciclo de vida de um produto, a sua análise é uma ferramenta essencial neste contexto, permitindo que os designers identifiquem e tentem diminuir os impactos desde a extração de matérias-primas até o descarte. No entanto, o design sustentável vai além da redução de impactos ambientais, adotando uma abordagem regenerativa, que procura restaurar ecossistemas e criar condições que beneficiem não apenas as pessoas, mas também os sistemas naturais. Modelos como o *cradle-to-cradle* (C2C) exemplificam essa mentalidade regenerativa, promovendo ciclos fechados de materiais onde os resíduos de um produto se tornam recursos para outros (Bakker et al., 2010).

A figura 5 representa o conceito de *Cradle to Cradle*, destacando os dois ciclos fundamentais deste modelo, o biológico e o técnico. No lado biológico, os materiais biodegradáveis são reintegrados na natureza como nutrientes, promovendo processos regenerativos sem gerar resíduos prejudiciais, exemplo da parte de madeira da pá do exemplo. Já no lado técnico, materiais industriais, como metais e plásticos, são continuamente reutilizados ou reciclados, permanecendo no ciclo produtivo da atmosfera técnica, exemplo da parte metálica que é reaproveitada para a conceção de outra pá, por exemplo. A imagem reforça o princípio central do C2C, que é eliminar a ideia de resíduos, promovendo um sistema em que todos os materiais são projetados para circular indefinidamente de forma sustentável.

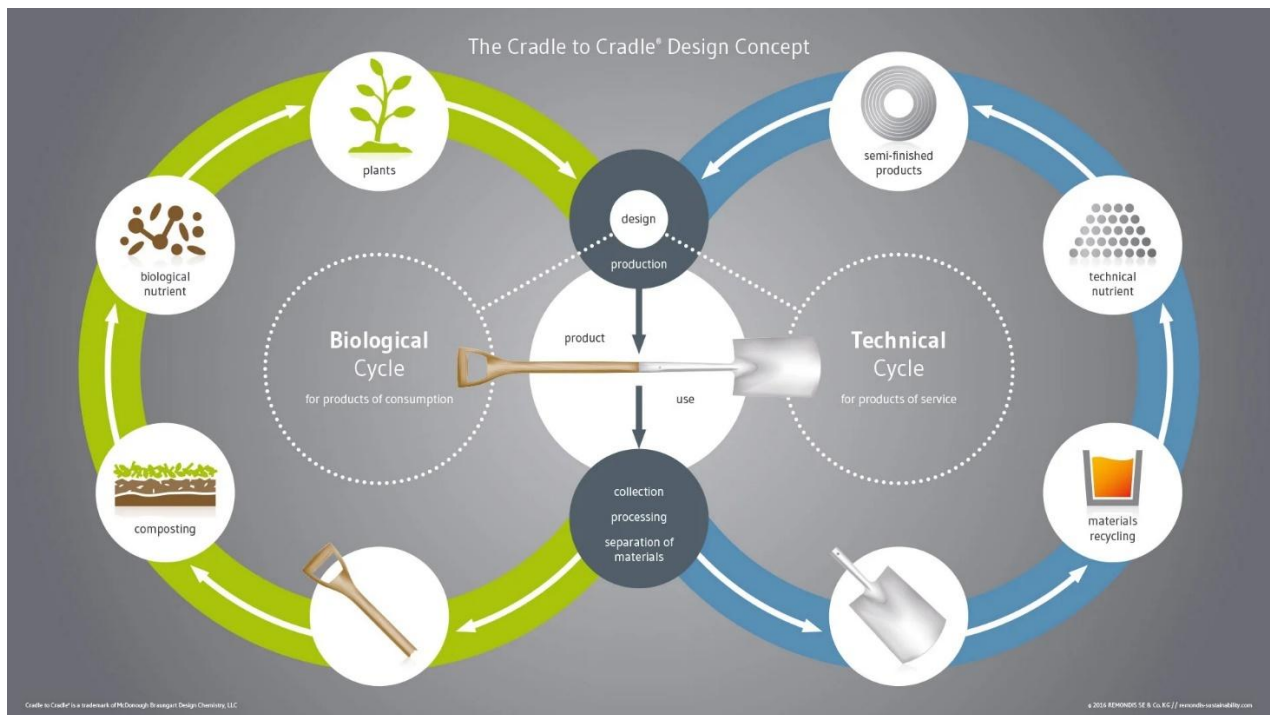


Figura 5 - Ciclo do modelo Cradle to Cradle (C2C).  
Fonte:(REMONDIS, 2024)

O design sustentável ajuda a promover a igualdade e a inclusão na sociedade. Este considera as necessidades das comunidades mais vulneráveis, promovendo justiça social e condições de trabalho justas em toda a cadeia produtiva. Isso quer dizer que produtos e serviços devem ser acessíveis e adaptados às diferentes culturas e economias, assegurando que a sustentabilidade não seja um privilégio, mas sim uma regra. Além disso, o design sustentável reconhece o papel das comunidades locais na colaboração para criar soluções, promovendo a valorização de saberes tradicionais e a integração de práticas culturais na concepção de produtos e sistemas (Pazmino, 2007).

Economicamente, este tipo de design abre novas oportunidades para inovação e crescimento, empresas que adotem esta abordagem reduzem custos operacionais ao implementar práticas de ecoeficiência e ao otimizar o uso de energia e materiais. Com isto é capaz de criar mercados para produtos e serviços sustentáveis, atendendo a um crescimento de procura por soluções que tenham em consideração valores ambientais e sociais. Por exemplo, nos dias de hoje aquando a compra de uma peça de roupa nova a constituição dos tecidos (orgânicos ou não) é tida em conta. Plataformas baseadas em economia colaborativa, exemplificam como o design sustentável pode transformar modelos de negócio tradicionais, promovendo o uso partilhado de recursos e reduzindo a necessidade de propriedade individual. Um bom exemplo disso são as empresas de mobilidade que oferecem serviços de transporte inovadores (Vezzoli & Manzini, 2008).

Apesar do seu potencial, o design sustentável enfrenta desafios significativos. Custos

iniciais elevados, falta de infraestrutura para logística inversa e resistência cultural são barreiras que precisam ser superadas para a implementação em larga escala. Além disso, é necessário desenvolver políticas públicas que incentivem práticas sustentáveis, promovendo incentivos econômicos e fiscais para empresas que adotem abordagens sustentáveis. A educação e a consciencialização também desempenham um papel crucial, ajudam os consumidores e organizações a entender os benefícios do design sustentável e a adotar práticas responsáveis (Freitas, 2022). Ao dia de hoje a população em geral ainda não tem o *mindset* de que o planeta e os recursos são finitos.

O design sustentável não é apenas uma abordagem, é uma resposta estratégica e ética aos desafios do século XXI. Este reflete uma mudança fundamental na maneira como concebemos e interagimos com o mundo, promovendo um equilíbrio entre as necessidades humanas, a justiça social e os limites do planeta. Ao integrar práticas regenerativas e inclusivas, não apenas mitiga impactos, mas também cria oportunidades para um futuro mais resiliente, equilibrado e sustentável. Para alcançar esse objetivo, é imprescindível uma colaboração contínua entre designers, indústrias, governos e comunidades, fomentando uma cultura de inovação que inspire e promova mudanças transformadoras (Platcheck, 2003).

O design social é uma evolução natural do design sustentável. Enquanto o design sustentável se foca em cuidar do meio ambiente e usar bem os recursos, o design social foca-se em como o design pode auxiliar as pessoas em situações difíceis.

#### **d. Design Social**

O design social é uma abordagem que coloca a justiça social e o bem-estar humano no centro do processo criativo, utilizando o design como uma ferramenta estratégica para resolver problemas que afetam comunidades em situações de vulnerabilidade. Ao contrário de outras áreas do design, que muitas vezes priorizam objetivos comerciais, o design social foca-se no impacto positivo que pode gerar na sociedade, abordando questões como desigualdade, exclusão social, acesso a recursos básicos e apoio comunitário. Este, não apenas oferece soluções práticas para desafios complexos, mas também promove transformações estruturais que ajudam a construir uma sociedade mais justa e equilibrada (Margolin & Margolin, 2002).

Este campo é orientado por princípios que refletem uma abordagem ética e inclusiva. O design social valoriza o ser humano e a comunidade como os principais agentes no processo de criação, dando prioridade a soluções que atendam às suas necessidades e respeitem os seus contextos culturais e financeiros. Promova a colaboração entre os beneficiários e ajuda a promover a igualdade entre todos. O design social quer auxiliar as pessoas a entenderem por que as coisas não estão bem. Essa abordagem também visa nutrir as comunidades, tornando-

as capazes de continuar a gerir problemas no futuro.

A implementação do design social utiliza metodologias adaptadas para contextos sociais diversos:

- O design *thinking*, por exemplo, é frequentemente aplicado com uma abordagem centrada na empatia e na colaboração com as comunidades;
- O design participativo, por sua vez, envolve ativamente os beneficiários durante todo o processo, garantindo que as soluções sejam relevantes e sustentáveis;
- O design centrado no ser humano (HCD) e o design para inovação social ajudam a criar intervenções que têm impacto real e duradouro, muitas vezes mobilizando redes locais e promovendo uma abordagem integrada ao desenvolvimento social (Kuijer, 2014).

As aplicações do design social são vastas e abrangem áreas como saúde, educação e empreendedorismo. No setor da saúde, projetos como o “*Project Mwana*”, desenvolvido pela UNICEF, utilizam tecnologias móveis para conectar mães e serviços de saúde em regiões remotas, salvando vidas e fortalecendo os sistemas de saúde comunitários (UNICEF, 2015). Na educação, iniciativas como o programa “*Design for Change*” tornam capazes crianças e jovens a identificar problemas nas suas comunidades e a desenvolver soluções criativas e colaborativas (Iivari & Kinnula, 2018). Na habitação, projetos como o “*Elemental Housing*” no Chile exemplificam como a colaboração pode gerar moradias acessíveis e adaptáveis às necessidades das famílias (Stott, 2016). Em muitas regiões, o design social também impulsiona a economia local, promovendo iniciativas como cooperativas agrícolas e empreendimentos comunitários que geram renda e fortalecem a autonomia das comunidades.

Embora tenha um impacto transformador, o design social enfrenta desafios significativos como a falta de financiamentos capazes de sustentar todos os custos associados. Muitas vezes, a falta de financiamento limita a escala e a continuidade dos projetos. Além disso, o impacto do design social pode ser difícil de medir a curto prazo, uma vez que muitas intervenções têm efeitos cumulativos e dependem de mudanças estruturais (Brown, 2009). Outro desafio é garantir que as soluções sejam culturalmente adequadas e livres de abordagens paternalistas, que podem desvalorizar o papel ativo das comunidades no processo. No entanto, os benefícios superam os obstáculos. O design social promove inclusão, justiça e autonomia, permitindo que indivíduos e comunidades se tornem protagonistas das soluções que moldam as suas vidas.

O design social destaca-se como uma evolução essencial no campo do design, demonstrando o seu potencial para abordar os desafios mais urgentes da sociedade

contemporânea (Margolin & Margolin, 2002). Este utiliza criatividade, empatia e colaboração para criar impacto positivo, indo além da resolução de problemas imediatos para construir bases mais sólidas de desenvolvimento social. Assim, não apenas responde às necessidades das comunidades, mas também as capacita de construir um futuro mais justo, resiliente e sustentável (Murray et al., 2010).

O design social transcende os limites do design tradicional ao colocar as comunidades e as suas necessidades no centro do processo criativo. Mais do que oferecer soluções pontuais, o design social procura impactar sistemas inteiros, tornando as pessoas capazes e promovendo mudanças estruturais que resultem em justiça social e autonomia para comunidades vulneráveis, tal como os exemplos enunciados neste capítulo.. Essa abordagem não apenas aborda desigualdades, mas também fortalece redes locais, fomenta igualdade e cria condições para um desenvolvimento sustentável a longo prazo.

### **e. Emissões CO<sub>2</sub>**

O dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) é o principal gás de efeito estufa (GEE) gerado pelas atividades humanas, desempenhando um papel central no agravamento do efeito estufa e das alterações climáticas, o aumento da percentagem de dióxido de carbono na atmosfera faz com que a camada de ozono seja rompida. Desde a Revolução Industrial, as concentrações de CO<sub>2</sub> na atmosfera aumentaram drasticamente devido à queima de combustíveis fósseis, desflorestação e outras atividades (Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2021). Atualmente, o CO<sub>2</sub> representa cerca de 76% das emissões globais dos GEE, tornando-se um foco prioritário em políticas e estratégias globais de mitigação climática (United Nations Environment Programme (UNEP), 2022), a maior parte dos países no mundo está abrigada a controlar as emissões de GEE's conforme o acordo de Paris..

As emissões de CO<sub>2</sub> são frequentemente categorizadas com base no Protocolo GHG (*Greenhouse Gas Protocol*), que organiza as fontes de emissão em três âmbitos, as emissões diretas, provenientes de fontes controladas pela organização, como a queima de combustíveis fósseis em caldeiras e veículos, emissões indiretas, resultantes do consumo de eletricidade, calor ou vapor adquiridos e emissões indiretas adicionais, provenientes de atividades ao longo da cadeia de valor, incluindo transporte, produção de materiais e gestão de resíduos (World Resources Institute (WRI) & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), 2004).

De acordo com relatórios de emissões 2022 do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), o mundo precisa reduzir as emissões globais de GEE em cerca de 45% até 2030 para limitar o aumento da temperatura global a 1,5°C acima dos níveis pré-

industriais. Contudo, os níveis de emissões continuam a crescer em muitos setores, especialmente no transporte, produção de energia e indústria pesada (United Nations Environment Programme (UNEP), 2022).

Para avaliar as emissões de CO<sub>2</sub>, é essencial utilizar metodologias padronizadas e reconhecidas internacionalmente, como o Protocolo GHG e os fatores de emissão desenvolvidos pelo IPCC. Estes métodos permitem quantificar e controlar os impactos ambientais de processos produtivos, identificar áreas críticas e propor estratégias de mitigação. A transição para fontes de energia renovável e o aumento da eficiência energética fez com que fossem adotadas tecnologias mais limpas (International Renewable Energy Agency (IRENA), 2021).

### **3. Economia circular**

A economia circular surge como uma resposta transformadora para os desafios globais de sustentabilidade e para o esgotar dos recursos naturais devido ao modelo económico linear. Esta propõe uma visão regenerativa, na qual os sistemas produtivos e de consumo são concebidos para imitar os ciclos naturais, eliminando o conceito de resíduos e promovendo o uso contínuo de recursos, reutilização e reaproveitamento são conceitos básicos da economia circular. Ao contrário do modelo linear de "extrair, produzir, descartar" (Sumter et al., 2020), que se baseia no consumo intensivo de recursos finitos e na geração de desperdícios em larga escala, a economia circular procura aumentar o valor dos materiais ao longo do tempo, garantindo que sejam continuamente reutilizados, reciclados ou reintegrados nos processos produtivos. Essa abordagem, como apontado pela *Ellen MacArthur Foundation*, ultrapassa a uma simples gestão de resíduos e redefine completamente como os produtos são concebidos, fabricados e consumidos. Esse modelo não apenas aborda os desafios ambientais, mas também promove inovações nos modelos de negócios, incentivando práticas colaborativas, como plataformas de partilha e sistemas de reparação acessíveis (Iles, 2022). Além disso, contribui significativamente para a redução de emissões de carbono, um dos fatores mais críticos nas estratégias globais de mitigação das mudanças climáticas, como já foi enunciado anteriormente neste trabalho. A adoção da economia circular exige a transformação das cadeias produtivas, com destaque para o design inteligente e o uso de tecnologias avançadas que garantam a rastreabilidade e eficiência dos materiais ao longo de todo o ciclo de vida, acompanhar e medir todas as eficiências dos processos é crucial para avaliar o desempenho da empresa. A sua implementação global requer a participação ativa de diferentes áreas, desde empresas e governos até consumidores, que desempenham um papel essencial na promoção

de novos padrões de consumo e desperdício.

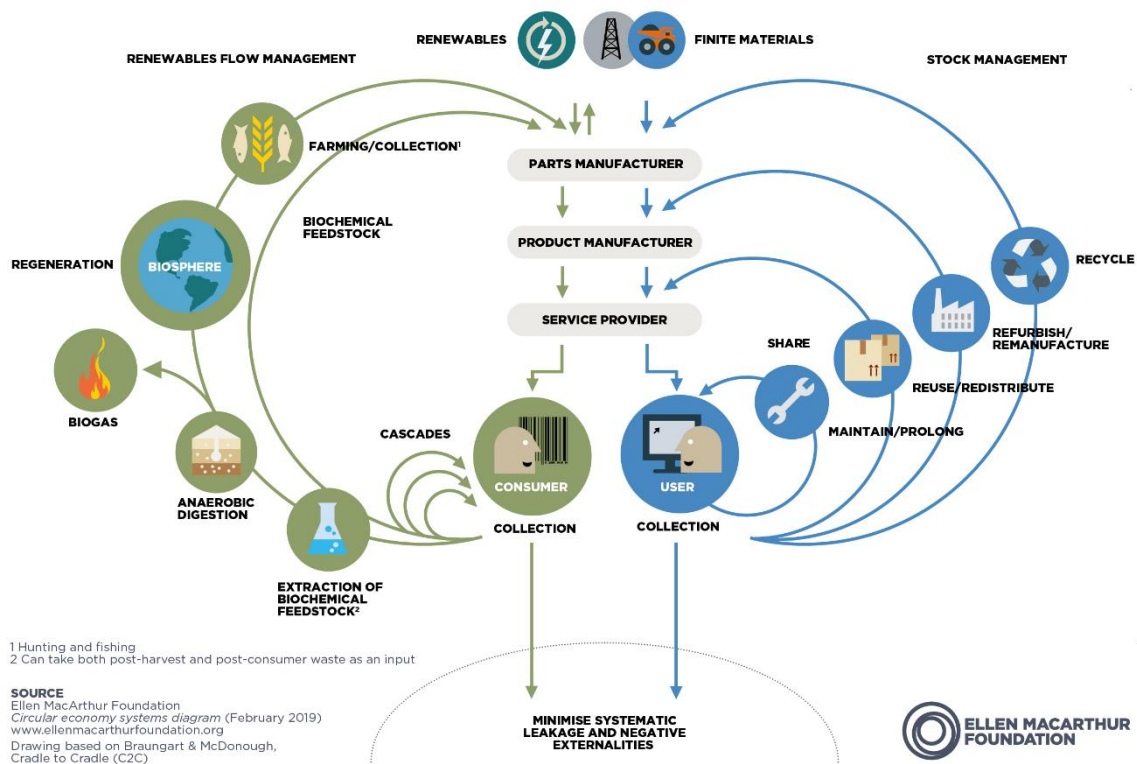


Figura 6 - Diagrama da Economia Circular.  
Fonte: (Iles, 2022)

Na figura 6 temos a representação do Diagrama de Borboleta desenvolvido pela *Ellen MacArthur Foundation*, é uma representação visual que ilustra os fluxos de materiais dentro da economia circular, dividindo-os em dois ciclos principais: o biológico e o técnico (modelo idêntico ao Cradle to Cradle já bordado neste trabalho). No ciclo biológico, à esquerda do diagrama, os materiais de origem natural são desenhados para regressar ao meio ambiente e funcionarem como agentes sustentáveis e nutrientes após o uso, por meio de processos como compostagem e digestão anaeróbica (MacArthur, 2013). Esse ciclo inclui extração, produção de produtos biodegradáveis e regeneração de ecossistemas. Já no ciclo técnico, à direita, encontram-se materiais não renováveis, como metais e plásticos, que devem ser mantidos em uso pelo maior tempo possível mediante manutenção, reutilização, reaproveitamento e reciclagem, exemplo do ferro que após utilizado é reutilizado, volta a ser fundido e é novamente utilizado para a conceção de um produto. Este lado do diagrama foca-se em maximizar o valor dos materiais enquanto evita o desperdício e reduz a necessidade de extração de novas matérias-primas.

O centro do diagrama destaca que a economia circular não é apenas um conjunto de práticas, mas um sistema integrado que conecta esses dois ciclos para criar valor económico,

reduzir impactos ambientais e promover inovação. O formato simétrico da "borboleta" simboliza a interdependência entre os fluxos biológicos e técnicos, mostra como o design regenerativo pode transformar resíduos em recursos e alinhar o progresso económico com a sustentabilidade. Este modelo visual é uma ferramenta essencial para compreender como implementar a economia circular em diferentes setores (MacArthur, 2022).

Os princípios fundamentais da economia circular orientam todas as suas práticas e são essenciais para transformar os sistemas produtivos e de consumo em estruturas sustentáveis e regenerativas (Héry & Malenfer, 2020).

Primeiro, o foco na eliminação de resíduos e poluição desde a fase de conceção. Essa abordagem exige uma integração entre inovação tecnológica e práticas de design inteligente, garantindo que os produtos sejam otimizados para circularidade desde a sua criação (Stahel, 2016). Garantindo, desde a fase de projeto, que o produto é de manutenção e reciclagem de componentes.

Segundo, a manutenção de produtos e materiais em uso, prolongando a sua vida útil por meio de estratégias como reparação, reaproveitamento e partilha. Além disso, iniciativas que incentivam a reutilização, como plataformas de reparação comunitária e sistemas de leasing, contribuem significativamente para ampliar a vida útil dos produtos (Stahel, 2016), torna-os funcionais durante mais tempo e com utilização de vários utilizadores.

Terceiro, a regeneração dos sistemas naturais. Ao invés de apenas minimizar danos ambientais, a economia circular procura reverter impactos negativos, promovendo práticas como agricultura regenerativa, restauração de ecossistemas degradados e uso de biomateriais que devolvem nutrientes ao solo e ao meio ambiente. A adoção desses princípios não apenas protege os recursos naturais, mas também cria valor económico ao reduzir desperdícios, diminuir custos e fomentar novos modelos de negócios regenerativos e colaborativos (Stahel, 2016). Os 3 princípios enunciados acima estão presentes na figura 7.

### 3 PRINCIPLES OF THE CIRCULAR ECONOMY



*Figura 7 - Princípios da Economia Circular.  
Fonte: (Duloquin, 2020)*

Os benefícios da economia circular são vários e interconectados. Do ponto de vista ambiental, reduz drasticamente a extração de recursos naturais e a geração de resíduos, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e para a preservação da biodiversidade (Ellen MacArthur Foundation, 2013). A redução das emissões de carbono, principalmente por meio da otimização de processos industriais e do reaproveitamento de materiais, é um dos impactos mais significativos (Stahel, 2016). Além disso, a economia circular incentiva a recuperação de ecossistemas degradados ao diminuir a pressão sobre habitats naturais e também ao promover práticas agrícolas regenerativas, que restauram a saúde do solo e a capacidade de absorção de carbono (Geng & Doberstein, 2012).

A economia circular oferece oportunidades inovadoras para empresas e mercados, aumentando a eficiência em todas as etapas produtivas, reduzindo os custos operacionais e criando novos modelos de negócios, como plataformas de partilha e sistemas de aluguer. Empresas que adotam estratégias circulares frequentemente ganham vantagem competitiva, atendendo à ao aumento de procura por produtos e serviços sustentáveis (McDonough & Braungart, 2002).

Além disso, fomenta evolução económica para setores como o reaproveitamento, reciclagem avançada e reparação, que também geram empregos e estimulam a economia local (European Environment Agency, 2019).

Do ponto de vista social, melhora a qualidade de vida ao promover padrões de consumo mais conscientes e ao reduzir os impactos negativos do desperdício desadequado de bens, como a poluição de águas e solos (Geng & Doberstein, 2012). A sua implementação incentiva uma maior consciencialização pública sobre sustentabilidade, criando uma sociedade mais envolvida e resiliente (Ellen MacArthur Foundation, 2013).

Tabela 2 - Comparação entre modelo linear e circular.  
 Fonte: Adaptado de (Stahel, 2016)

	<b>Modelo Linear</b>	<b>Modelo Circular</b>
<b>Benefícios Económicos</b>	Foco no crescimento rápido e consumo intensivo, resultando em custos elevados com extração de matérias-primas e gestão de resíduos.	Redução de custos operacionais por meio da reutilização de materiais, criação de novos modelos de negócio e promoção da economia colaborativa.
<b>Benefícios Ambientais</b>	Alta extração de recursos naturais e geração de resíduos, resultando em degradação ambiental e emissões elevadas de carbono.	Minimização do desperdício, redução das emissões de carbono e regeneração de ecossistemas por meio de práticas sustentáveis.
<b>Benefícios Sociais</b>	Desigualdade social agravada pelo foco em sistemas de consumo descartável e exploração intensiva de recursos.	Promoção de padrões de consumo conscientes, criação de empregos verdes e aumento da inclusão social.

A tabela acima destaca as principais diferenças entre os modelos económico linear e circular. O modelo linear, predominante desde a Revolução Industrial, caracteriza-se pela exploração intensiva de recursos naturais, resultando em altos índices de desperdício e degradação ambiental (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Além disso, a lógica linear contribui para a desigualdade social, priorizando extração de recursos em países em desenvolvimento e ao criar dependência de sistemas descartáveis que impactam negativamente as comunidades mais vulneráveis (Stahel, 2016).

Em contrapartida, o modelo circular propõe um redesign completo das cadeias produtivas e de consumo, procurando aumentar sustentabilidade económica, ambiental e social. Incentiva práticas como a reutilização, reaproveitamento e reciclagem, que prolongam a vida útil dos produtos e reduzem a necessidade de extração de matérias-primas (Martin Geissdoerfer & Hultink, 2017), utilizando materiais reutilizados.. Do ponto de vista ambiental, a economia circular promove a regeneração de ecossistemas, alinhando-se aos princípios de desenvolvimento sustentável. Socialmente, o modelo circular fomenta padrões de consumo

mais conscientes, cria empregos verdes e estimula a inclusão social por meio de práticas colaborativas e acessíveis (European Environment Agency, 2019), destas diferenças, enunciadas anteriormente, ressaltam a importância de adotar uma abordagem sistemática e regenerativa para enfrentar os desafios económicos e ambientais do século XXI.

A implementação da economia circular enfrenta barreiras significativas que precisam de ser superadas para que o seu potencial regenerativo se concretize em escala global. A falta de infraestrutura robusta para logística inversa e reciclagem, especialmente em países em desenvolvimento, limita o reaproveitamento de materiais em larga escala (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Sistemas inadequados para a recolha e separação de resíduos frequentemente levam à colocação destes em aterros ou à incineração, comprometendo os benefícios ambientais da circularidade. Outro desafio significativo é o custo inicial elevado para empresas e indústrias que procuram transitar para este modelo. Muitas vezes, são necessários investimentos substanciais para adaptar processos produtivos e integrar tecnologias mais limpas e eficientes, o que pode ser uma barreira, particularmente para pequenas e médias empresas (Stahel, 2016). Além disso, a transição exige uma mudança cultural significativa, tanto por parte de consumidores quanto de organizações, que ainda estão enraizados em padrões de consumo linear, caracterizados pelo descarte rápido e pelo foco na posse ao invés do uso (McDonough & Braungart, 2002), resultado de décadas a trabalhar em modelo linear..

Políticas públicas e regulamentações específicas são essenciais para criar condições que viabilizem esta mudança. Incentivos fiscais para empresas que adotem práticas circulares, financiamentos para inovação tecnológica e penalizações para desperdício e poluição são algumas das estratégias que podem acelerar a transição (European Environment Agency, 2019). Esses incentivos devem ser acompanhados de campanhas educacionais que aumentem a consciencialização pública sobre os benefícios e a importância da economia circular, promovendo padrões de consumo mais responsáveis e sustentáveis.



*Figura 8 - Logística inversa.  
Fonte: (Dpto Comunicacion y Marketing, 2021)*

A figura 8 apresentada o conceito de logística inversa, uma prática essencial na economia circular que visa recolher, processar e reintegrar produtos, embalagens ou materiais descartados no ciclo produtivo (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Este processo é fundamental para reduzir a geração de resíduos, minimizar o uso de recursos naturais e promover a reutilização e reciclagem de materiais (Stahel, 2016). Ao contrário da logística convencional, a logística inversa atua de maneira inversa, conectando o ponto de consumo à reciclagem ou descarte sustentável.

Apesar dos seus benefícios, a implementação enfrenta desafios como a complexidade operacional, altos custos e falta de infraestrutura adequada (Martin Geissdoerfer & Hultink, 2017). A conscientização e a interação dos consumidores também são cruciais, mas frequentemente limitados pela ausência de incentivos claros (Geng & Doberstein, 2012). Para superar essas barreiras, soluções incluem o uso de tecnologias avançadas para rastrear e triar, além de parcerias estratégicas entre empresas, governos e ONGs (Organizações Não Governamentais) (McDonough & Braungart, 2002). A logística inversa não só contribui para

a sustentabilidade ambiental, mas também gera valor económico e reforça a responsabilidade corporativa, tornando-se um pilar essencial na transição para modelos económicos mais circulares e regenerativos (European Environment Agency, 2019), reutilizar materiais em fim de vida é dar uma nova vida aos componentes.

O avanço em tecnologias de reciclagem química, por exemplo, permite que materiais complexos sejam decompostos em componentes básicos, facilitando a sua reutilização em novos produtos sem perda significativa de qualidade (Martin Geissdoerfer & Hultink, 2017). A digitalização e a Internet das Coisas (IoT) têm desempenhado papéis cruciais na rastreabilidade de materiais e na otimização de cadeias produtivas, promovendo uma eficiência em tempo real que conectando diferentes elos da cadeia de valor através de dispositivos eletrónicos simples já existentes no quotidiano de todos. Além disso, a inteligência artificial vem sendo amplamente utilizada para projetar produtos mais sustentáveis, prever padrões de consumo e otimizar a gestão de recursos, especialmente em sistemas colaborativos de economia circular (Brandão et al., 2020). Todas estas evoluções mostram que a inovação tecnológica não é apenas um suporte, mas um motor essencial para acelerar a transição.

No entanto, os desafios institucionais também não podem ser ignorados. A falta de regulamentações padronizadas entre diferentes países e regiões frequentemente cria barreiras para a implementação de sistemas circulares globais, dificultando a colaboração transnacional. Além disso, é necessário desenvolver métricas e indicadores que avaliem com precisão os impactos económicos, ambientais e sociais da economia circular, garantindo que os avanços sejam medidos e acompanhados ao longo do tempo (Stahel, 2016).

A economia circular não é apenas uma solução para os problemas ambientais e económicos atuais, mas também uma visão abrangente e necessária para o futuro. Reconstruir o progresso económico através da separação do consumo desnecessário de recursos é fundamental para restaurar o equilíbrio entre crescimento, preservação do meio ambiente e bem-estar humano. A sua implementação bem-sucedida requer um esforço colaborativo entre governos, empresas, organizações e cidadãos, criando uma rede de inovação, política e educação que apoie a transição (Ellen MacArthur Foundation, 2013).



*Figura 9 - Ciclo da Economia Circular.  
Fonte: (Grupo Muda, 2023)*

A figura 9 apresenta o ciclo de fluxos dentro da economia circular, com destaque para os processos que conectam produção, consumo, recolha e reutilização. Este modelo reflete os princípios fundamentais da economia circular, onde cada etapa é projetada para maximizar o uso dos recursos e minimizar a geração de resíduos (Talla & McIlwaine, 2024). A figura mostra como os produtos podem ser reciclados depois que são usados. Isso é importante para materiais biológicos e técnicos.

## 4. Indústria Automóvel

A indústria automóvel desempenha um papel estratégico no desenvolvimento global, destacando-se não apenas como um motor económico, mas também como um setor transformador de padrões sociais e ambientais. Este segmento combina alta complexidade tecnológica, inovação constante e integração em cadeias de valor globais. Desde a extração de matérias-primas, passando pela produção e distribuição, até à entrega de veículos e serviços associados, o setor mobiliza uma vasta rede de atores económicos e sociais. A sua influência ultrapassa o transporte de bens e pessoas, estendendo-se a áreas cruciais como urbanização, sustentabilidade e transição energética (Freyssenet, 2009).

No século XX, o advento da produção em massa, impulsionado pela linha de montagem de Henry Ford, revolucionou a indústria e tornou os automóveis acessíveis a milhões de pessoas. Este modelo de produção não só estimulou o crescimento económico, mas também catalisou avanços tecnológicos que continuam a moldar a indústria. Hoje, a globalização e a digitalização aceleraram estas mudanças, transformando os processos produtivos através de automação, robótica e inteligência artificial. As fábricas inteligentes, ou “*smart factories*”, otimizam operações, melhoram a qualidade dos produtos e reduzem custos, tornando-se uma realidade crescente (Nieuwenhuis & Wells, 2015).

Adicionalmente, o século XXI trouxe desafios sem precedentes, como a pressão para mitigar as alterações climáticas e reduzir as emissões de carbono. Isso gerou uma transição para veículos elétricos e híbridos, que em 2023 representaram cerca de 16% das vendas globais de automóveis ligeiros (IEA, 2023). A adaptação a esta nova realidade requer esforços significativos de pesquisa e desenvolvimento, incluindo o aprimoramento de baterias de lítio, infraestrutura de carregamento e tecnologias de reciclagem. Além disso, a integração de sistemas conectados e a procura por veículos autónomos têm reposicionado o automóvel como um componente central da mobilidade inteligente e sustentável (World Economic Forum, 2020).

Por outro lado, a competição global intensificou-se, com a China a liderar como maior produtora mundial, contribuindo com cerca de 30 milhões de veículos em 2023. Países como os Estados Unidos, Alemanha, Japão e Índia também desempenham papéis de destaque, representando importantes polos de inovação e produção. Esses mercados estão cada vez mais influenciados por *startups* tecnológicas e novos modelos de negócios, como serviços de partilha de veículos, que desafiam os formatos tradicionais de propriedade automóvel (European Automobile Manufacturers’ Association, 2023).

Este setor enfrenta ainda desafios geopolíticos e económicos, como a volatilidade das

cadeias de fornecimento e a escassez de semicondutores, que afetam a capacidade de produção. Apesar disso, a indústria automóvel continua a demonstrar resiliência e capacidade de reinvenção, adaptando-se às mudanças e liderando inovações que definirão o futuro da mobilidade global (Freyssenet, 2009).

### a. Indústria automóvel no mundo

A indústria automóvel é um dos pilares da economia global, refletindo tanto o crescimento das exigências por mobilidade quanto os desafios enfrentados por mercados altamente dinâmicos (Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA), 2020), esta tem vindo a sofrer grandes alterações devido à rápida evolução dos processos produtivos. Nos últimos anos, a produção global de veículos tem oscilado devido a fatores como crises económicas, avanços tecnológicos e mudanças nos padrões de consumo (Statista, 2023). A pandemia de COVID-19, a escassez de semicondutores e a transição para tecnologias mais sustentáveis marcaram transformações significativas no setor (IEA, 2023). A análise da evolução dessa indústria permite compreender as tendências globais e regionais que moldaram a produção e o consumo de veículos ao longo das últimas décadas.

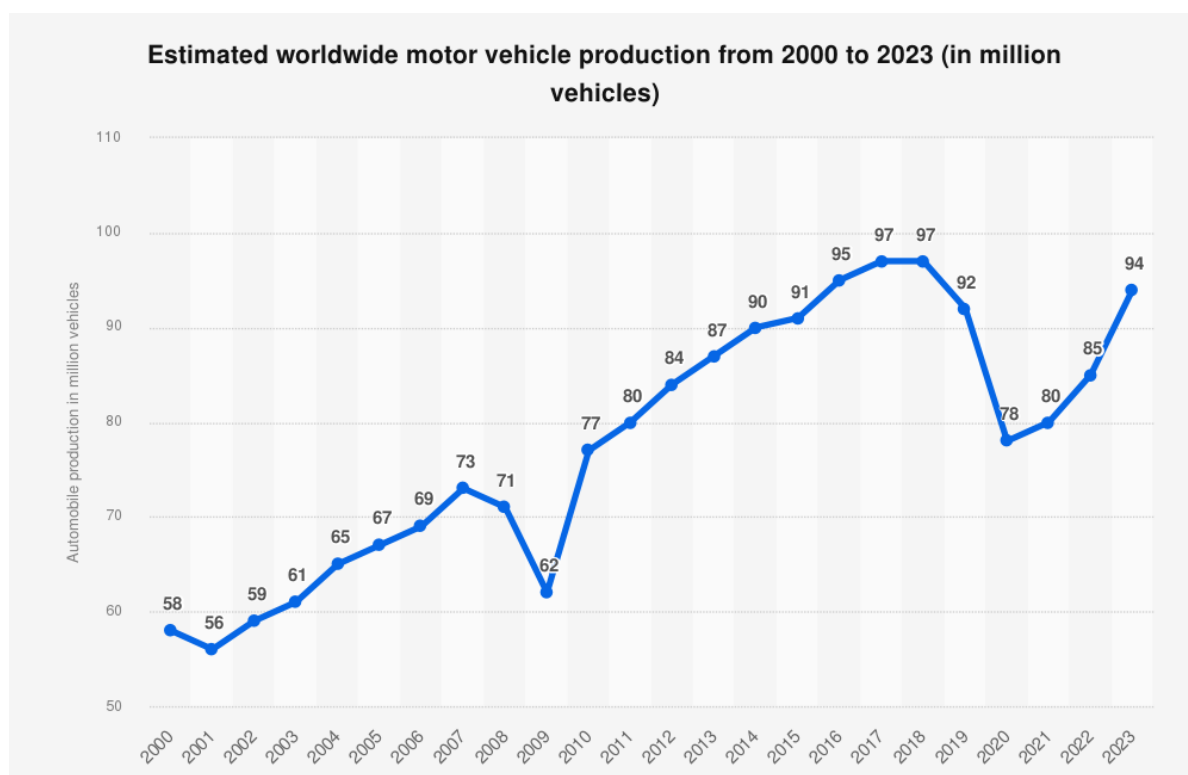


Figura 10 - Número de veículos (em milhões) produzidos entre 2000 e 2023 no mundo.  
Fonte: (Statista, 2023)

A figura 10 apresenta um gráfico que ilustra a evolução da produção global de veículos

automóveis entre 2000 e 2023, destacando as tendências, picos e quedas que moldaram a indústria ao longo das últimas décadas, picos negativos esses que se devem a crises económicas e pandemias. Observa-se um crescimento constante na produção de veículos até 2018, quando o setor atingiu um pico de 96,9 milhões de unidades produzidas. Esse período reflete um mercado automóvel em expansão, impulsionado pelo aumento de pedidos em mercados emergentes, como a China, e pela recuperação económica em mercados consolidados.

No entanto, a partir de 2019, o gráfico evidencia uma desaceleração na produção, atribuída a fatores como a saturação de mercados desenvolvidos e a crescente pressão por regulamentações ambientais mais rígidas. O impacto mais significativo ocorre em 2020, quando a pandemia de COVID-19 causou interrupções nas cadeias de abastecimento, fecho de fábricas e uma queda abrupta nos pedidos globais, resultando numa produção de apenas 77,6 milhões de unidades.

A recuperação gradual é perceptível em 2021 e 2022, impulsionada pela retomada da economia e pelo aumento do interesse em veículos elétricos e híbridos. Apesar disso, o setor enfrenta desafios contínuos, como a escassez de semicondutores e as crescentes pressões por sustentabilidade (European Automobile Manufacturers' Association, 2023). Em 2023, a produção global de veículos estabiliza-se, e mostra que nos valores de 2018 não eram uma miragem.

O gráfico mostra como fatores externos, como crises globais e transformações tecnológicas, afetam a capacidade de produção e a resiliência da indústria.

A figura 11 apresenta as vendas globais de veículos automóveis entre 2019 e 2023, destacando as tendências e as flutuações causadas por fatores económicos, sociais e tecnológicos. Analisar estas variações é essencial para compreender como a indústria automóvel reagiu aos desafios globais e se adaptou às mudanças nas dinâmicas de mercado.

## GLOBAL SALES - ALL VEHICLES

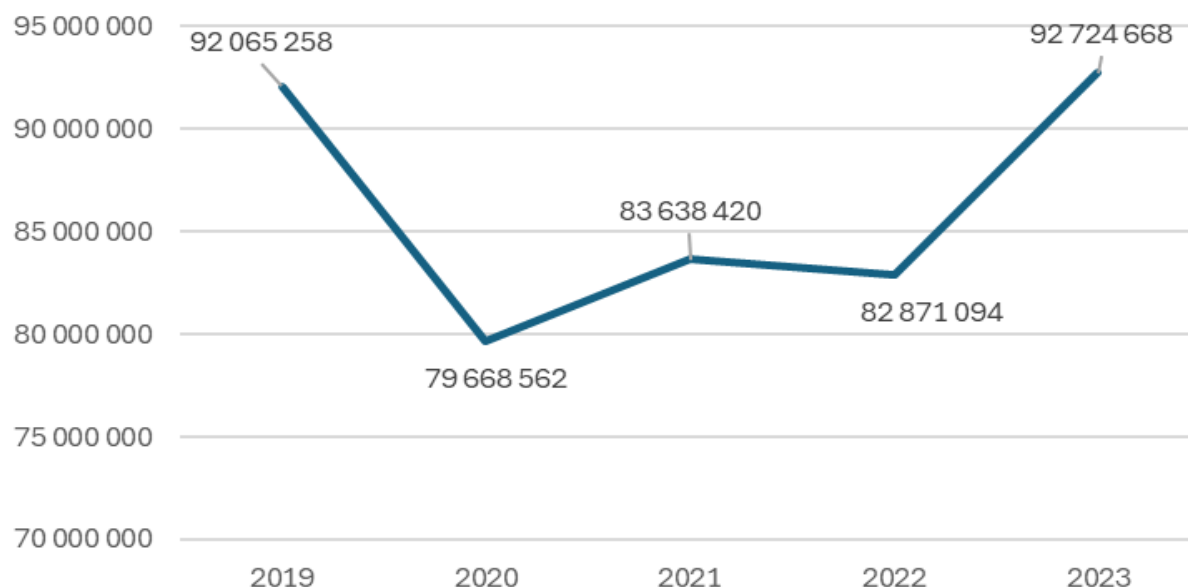


Figura 11 - Vendas globais de veículos entre 2019 e 2023.

Fonte: (OICA, 2024)

O gráfico evidencia uma queda acentuada nas vendas globais em 2020, quando o setor foi severamente impactado pela pandemia, resultando num declínio para cerca de 79,6 milhões de veículos vendidos. A recuperação começou em 2021, com um aumento para 83,6 milhões de unidades, impulsionada pela reabertura das economias e pela retomada da produção. Apesar de uma leve queda em 2022, as vendas voltaram a crescer significativamente em 2023, atingindo 92,7 milhões de unidades, quase retornando ao nível de 2019. Esses dados demonstram a capacidade da indústria automóvel de se adaptar, mesmo diante de crises globais, e apontam para uma trajetória de recuperação coerente com a normalização das cadeias de abastecimento e o aumento dos pedidos de veículos em mercados emergentes e desenvolvidos.

### **b. Indústria automóvel na Europa**

A indústria automóvel na Europa é uma das mais avançadas e estratégicas do mundo, desempenhando um papel crucial na economia do continente. Responsável por cerca de 7% do PIB europeu e por mais de 14,6 milhões de empregos diretos e indiretos, o setor automóvel é um motor de inovação tecnológica e competitividade industrial (European Automobile Manufacturers' Association, 2023), estes valores são resultado de grande parte das marcas automóveis serem sediadas no continente Europeu. Além disso, o continente é pioneiro na transição para veículos de baixas emissões, impulsionado por regulamentações ambientais rigorosas e metas de descarbonização estabelecidas pela União Europeia, como o *Green Deal Europeu* (European Commission, 2021). O incentivo financeiro por parte dos governos

aquando a aquisição de veículos elétricos e híbrido tem vindo a fazer crescer de forma celere esse mercado.

A importância da indústria automóvel europeia vai além da economia, influenciando diretamente a cadeia de valor global e as políticas de mobilidade sustentável. Grandes produtoras europeias, como *Volkswagen*, *BMW* e *Stellantis*, têm investido massivamente em tecnologias limpas, como veículos elétricos e híbridos, fortalecendo a posição da Europa como líder global em inovação automóvel (IEA, 2023). Essa transformação, posiciona a indústria europeia como um exemplo na adoção de práticas sustentáveis.

A figura 12 apresenta a evolução das vendas de veículos na Europa entre 2019 e 2023. Durante este período, o mercado europeu enfrentou desafios significativos, incluindo os impactos da pandemia de COVID-19, a escassez de semicondutores e mudanças nas políticas ambientais que incentivaram a transição para veículos elétricos. Estes fatores influenciaram as diretamente os mercados e resultaram em flutuações nas vendas.

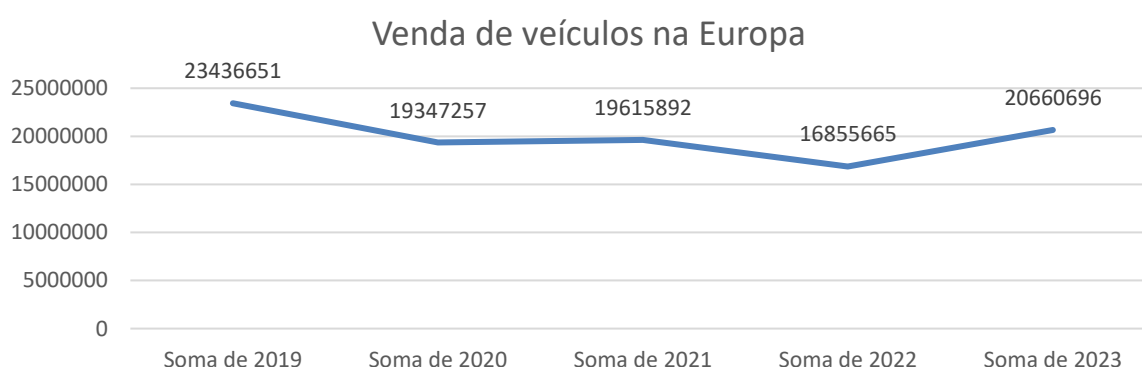
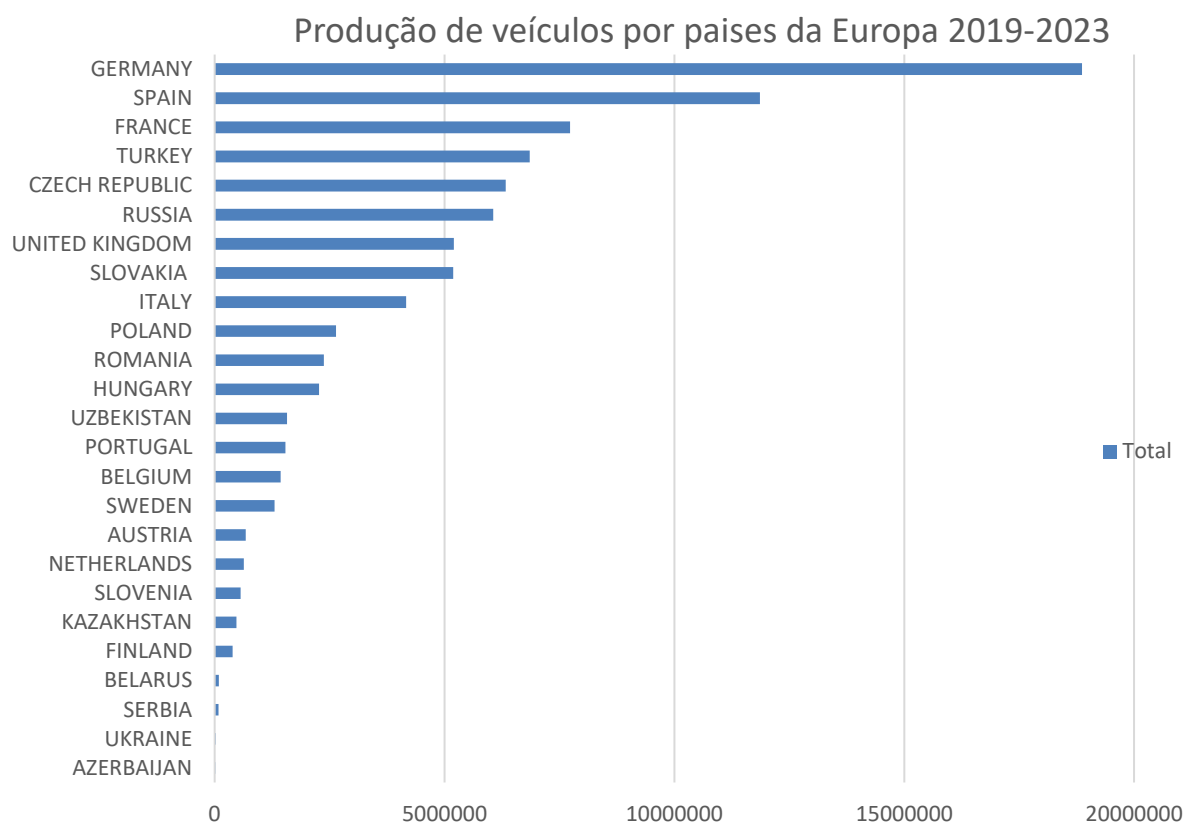


Figura 12 - Número de veículos vendidos na Europa entre 2019 e 2023.  
Fonte: Adaptado de (OICA, 2024)

A figura demonstra um declínio acentuado nas vendas em 2020, com uma redução de cerca de 4 milhões de unidades em comparação com o ano de 2019, devido às restrições económicas e de mobilidade impostas pela pandemia. Em 2021, o mercado mostrou sinais de recuperação, atingindo 19,6 milhões de unidades vendidas, mas voltou a sofrer um declínio em 2022, caindo para 16,8 milhões, refletindo o impacto contínuo da escassez de componentes. Contudo, em 2023, as vendas registaram um crescimento significativo, alcançando 20,6 milhões de unidades, evidenciando uma recuperação parcial do setor, impulsionada pela normalização das cadeias de abastecimento e pelo aumento da confiança do consumidor na livre circulação.

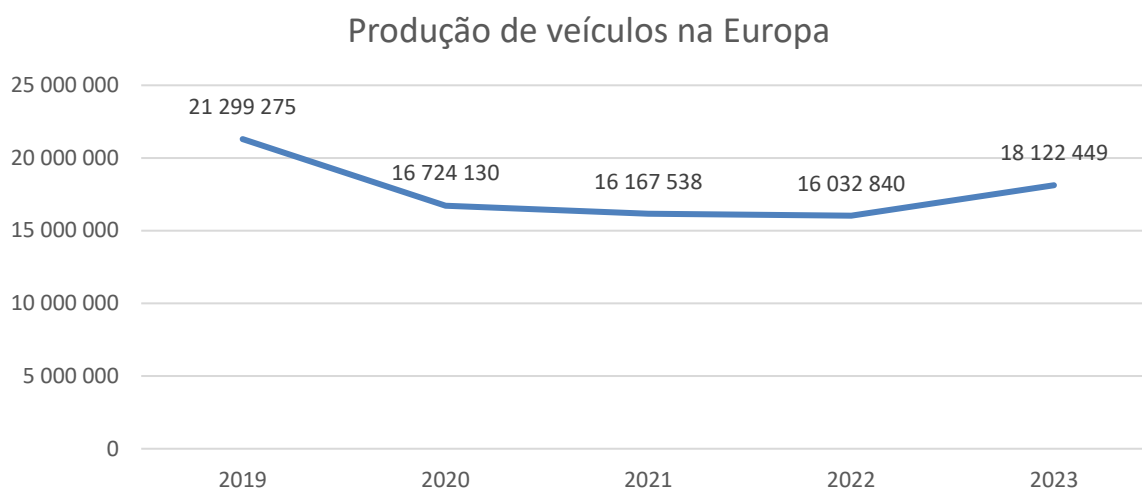
A figura 13 apresenta a produção de veículos por país na Europa entre 2019 e 2023, destacando as disparidades e as contribuições individuais dos principais países produtores.



*Figura 13 - Total de veículos produzidos por países da Europa entre 2019 e 2023.  
Fonte: Adaptado de (OICA, 2024)*

A Alemanha lidera amplamente a produção automóvel na Europa, refletindo a sua infraestrutura avançada, forte base industrial e o domínio de marcas como *Volkswagen*, *BMW* e *Mercedes-Benz*. Espanha e França seguem como importantes centros de produção, impulsionados pelas suas produtoras nacionais e investimentos consistentes na indústria automóvel. Outros países, como a República Checa e a Eslováquia, também se destacam como *hubs* produtivos, muitas vezes especializados na produção de componentes ou modelos específicos.

Países como Portugal e Hungria, embora tenham volumes menores, desempenham papéis cruciais como pontos estratégicos de produção para produtoras multinacionais devido à sua mão de obra qualificada e localização vantajosa. A facilidade em exportar veículos para o continente americano torna-o um país apetecível para produção.



*Figura 14 - Número de veículos produzidos na Europa entre 2019 e 2023.  
Fonte: Adaptado de (OICA, 2024)*

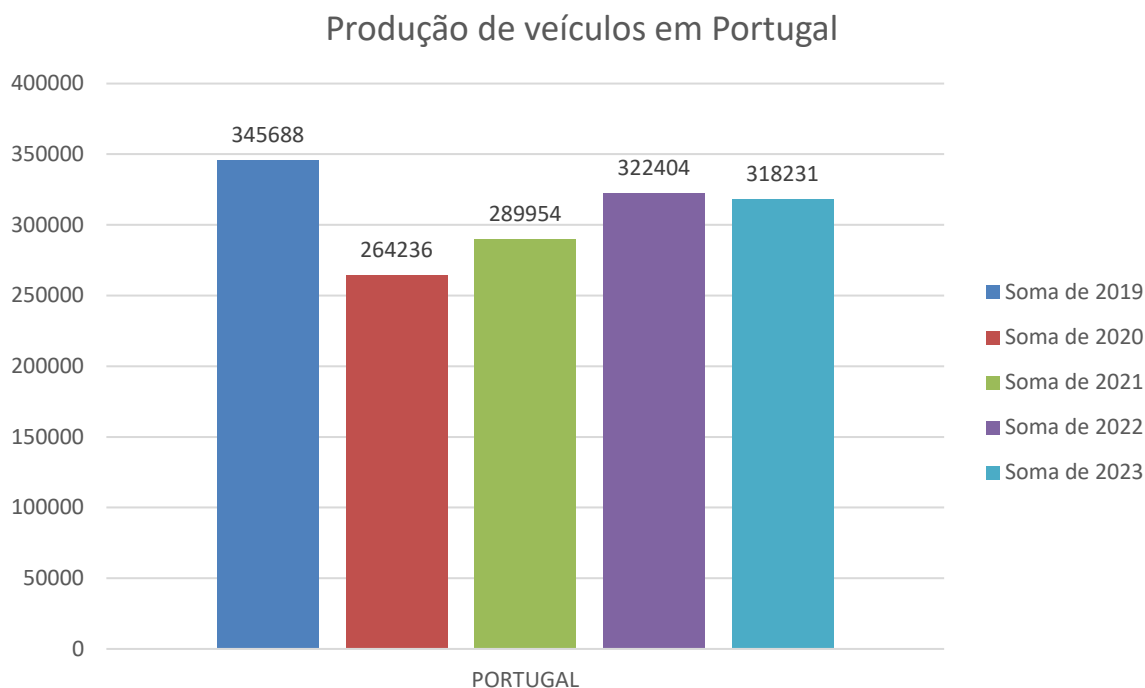
O gráfico da figura 14 evidencia uma queda drástica na produção em 2020, quando as restrições globais e interrupções na cadeia de abastecimento reduziram os números para 16,7 milhões de unidades. Apesar de uma recuperação tímida em 2021 e 2022, os níveis de produção continuaram abaixo dos patamares pré-pandemia. No entanto, em 2023, observa-se uma retomada mais expressiva, alcançando 18,1 milhões de unidades, refletindo uma estabilização gradual do setor e a adaptação às condições de mercado em transformação.

### **c. Indústria automóvel em Portugal**

A indústria automóvel em Portugal é um dos pilares da economia nacional, contribuindo significativamente para o Produto Interno Bruto e para as exportações do país. Representando cerca de 20% das exportações totais, o setor desempenha um papel estratégico no comércio externo e na criação de emprego, empregando diretamente mais de 100 mil pessoas e indiretamente milhares em atividades relacionadas, como logística, metalomecânica e tecnologia (Banco de Portugal, 2024). Portugal é reconhecido como um *hub* competitivo para a produção automóvel devido à sua localização estratégica, mão de obra qualificada e integração em cadeias globais de valor.

O país abriga grandes unidades de produção, como a Autoeuropa (*Volkswagen*), uma das maiores exportadoras nacionais, e diversas fábricas especializadas em componentes automóveis, como *Bosch* e *Continental*, que são cruciais para o abastecimento de mercados europeus e globais. Além disso, Portugal tem-se destacado no desenvolvimento de soluções de mobilidade sustentável, apresentando investimentos crescentes em veículos elétricos e infraestrutura de carregamento, alinhando-se às políticas ambientais europeias, como o *European Green Deal* (European Commission, 2021).

A relevância do setor vai além do impacto financeiro, contribuindo para o avanço tecnológico e a inovação, especialmente em áreas como eficiência energética e digitalização. Portugal está se destacando na indústria de carros com iniciativas que incentivam a pesquisa e desenvolvimento (R&D) e atraíam novos investidores, tornando-se um mercado mais competitivo e sustentável.

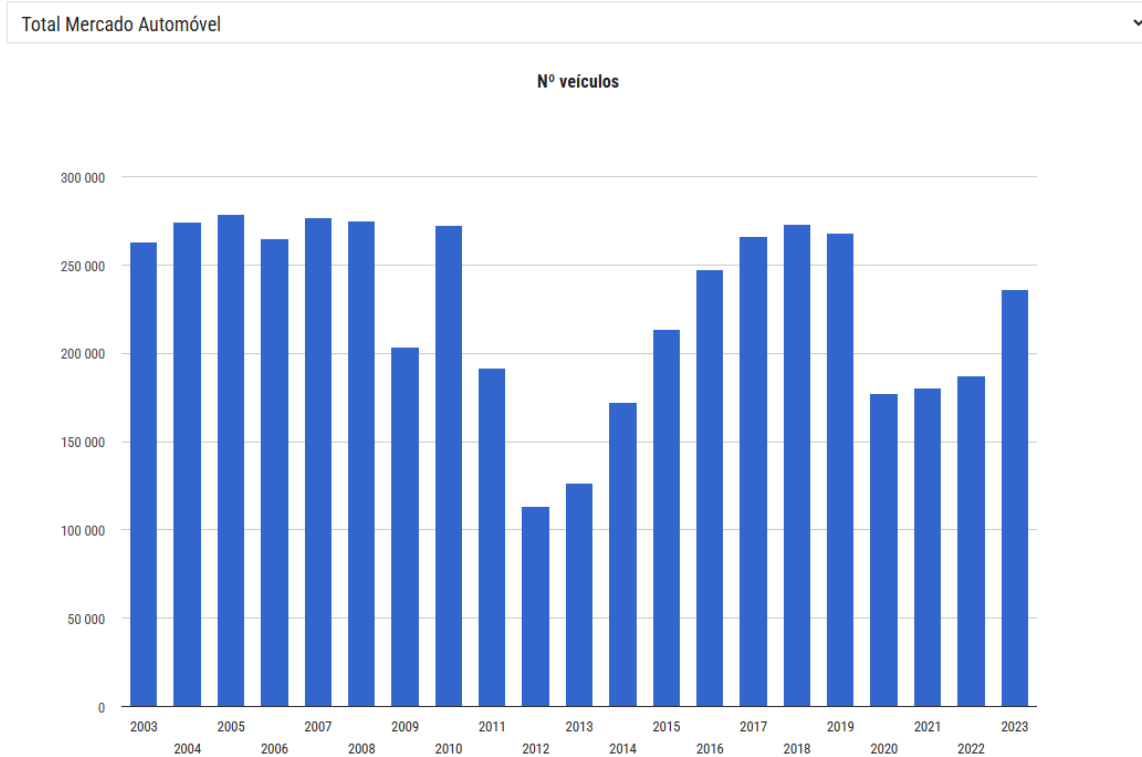


*Figura 15 - Número de veículos produzidos em Portugal entre 2019 e 2023.  
Fonte: Adaptado de (OICA, 2024)*

Conforme ilustrado no gráfico da figura 15, a produção de veículos em Portugal alcançou o seu pico em 2019, com 345.688 unidades. Em 2020, observa-se uma queda significativa para 264.236 unidades, causada pela pandemia. A recuperação foi gradual, atingindo 289.954 veículos em 2021 e 322.404 em 2022. Em 2023, os números estabilizaram em 318.231 unidades, refletindo uma recuperação consistente.

A figura 16 apresenta a evolução do mercado automóvel em Portugal, em termos de matrículas / vendas totais, ao longo dos últimos 20 anos. Este panorama permite observar as variações de pedidos por veículos novos, refletindo momentos de crescimento e retração associados a fatores económicos, políticos e sociais.

## Matrículas Total Mercado Automóvel em Portugal



Fonte: ACAP.

Figura 16 - Número de veículos matriculados em Portugal entre 2003 e 2023.

Fonte: (ACAP, 2024)

O gráfico da figura 16 diz-nos que o mercado automóvel em Portugal tem demonstrado uma evolução dinâmica ao longo das últimas duas décadas, marcada por períodos de expansão e retração.

Os grandes influenciadores dos picos negativos foram a crise económica e a pandemia covid 19 em 2010 e 2019, respetivamente (European Automobile Manufacturers' Association, 2023). Apesar dessas dificuldades, o mercado voltou a crescer a partir de 2022, sustentado pela resiliência do setor e pelo aumento do interesse por veículos mais sustentáveis, como elétricos e híbridos, alinhando-se às políticas ambientais europeias, como o *European Green Deal* (European Commission, 2021).

Em 2023, observa-se uma recuperação expressiva, refletida pelo aumento no número de matrículas, indicando um regresso gradual à normalidade pré-pandémica. Este crescimento é atribuído a fatores como a estabilização económica, a recuperação do turismo e o contínuo investimento em infraestrutura automóvel e tecnologias sustentáveis.

## **5. O desafio da circularidade no setor automóvel**

A transição para uma economia circular representa um desafio significativo para a indústria automóvel, mas também uma oportunidade estratégica para a sua reinvenção. Durante décadas, este setor funcionou num modelo linear de "extrair, produzir e descartar", com impacto ambiental elevado, especialmente devido ao consumo intensivo de recursos naturais e à emissão massiva de gases de efeito estufa (Kjaer et al., 2019). Esse modelo de produção e consumo linear levou a um aumento exponencial dos resíduos, tornando-se insustentável em termos ambientais e económicos (Stahel, 2016).

A crescente pressão regulamentar, impulsionada pela União Europeia, juntamente com avanços tecnológicos e mudanças nas expectativas dos consumidores, têm feito com que a indústria a repense as suas práticas (Martin Geissdoerfer & Hultink, 2017). A economia circular surge, assim, como uma resposta integrada e necessária para garantir a sustentabilidade da produção automóvel, reduzindo desperdícios, aumentando a eficiência no uso de materiais e minimizando os impactos ambientais negativos (Ellen MacArthur Foundation, 2013). Este conceito não se limita à reciclagem de materiais, mas abrange a conceção de produtos com ciclos de vida prolongados, reutilização de componentes e gestão otimizada de resíduos (Ghisellini et al., 2016).

A circularidade no setor automóvel requer estratégias que vão desde o design inicial do produto até a gestão do seu final de vida, incentivando a reutilização, o reaproveitamento e a reciclagem de materiais. A aplicação dos princípios de design circular pode garantir a sustentabilidade da indústria, cumprindo as exigências legais e reduzindo a pegada ambiental. Além disso, os objetivos do *European Green Deal*, que incluem a neutralidade carbónica até 2050, colocam a indústria automóvel sob pressão adicional para inovar e adotar práticas mais sustentáveis (European Environment Agency, 2019). O conceito de responsabilidade estendida do produtor (Extended Producer Responsibility, EPR) também obriga os fabricantes a considerar todo o ciclo de vida dos seus produtos, incluindo o destino final dos veículos (OECD, 2016). Assim, a circularidade não é apenas uma escolha estratégica, mas uma obrigação legal e ética para assegurar a sustentabilidade a longo prazo do setor.

### **a. Práticas circulares adotadas na indústria automóvel**

A indústria automóvel tem várias estratégias para reduzir o impacto ambiental, aumentar a eficiência e prolongar a vida útil dos materiais. Estas práticas visam diminuir os resíduos, criar oportunidades de negócio e inovação tecnológica. Dentre as abordagens mais relevantes, destaca-se a reciclagem de baterias, a reutilização de peças e o conceito de

*remanufacturing*, essenciais para assegurar uma transição eficiente para a economia circular (Bernard, 2011).

A reciclagem de baterias, por exemplo, permite recuperar materiais valiosos como lítio, cobalto e níquel, reduzindo a necessidade de extração de matérias-primas e diminuindo os riscos associados à sua disposição inadequada (Martins, 2015). A reutilização de peças, por outro lado, contribui para a sustentabilidade ao dar uma segunda vida a componentes que ainda têm potencial de uso, como motores e sistemas de transmissão (Bonaparte, 2019).

Além disso, o *remanufacturing* vai além da simples reutilização de peças, sendo um processo altamente controlado e tecnicamente avançado, no qual os produtos são restaurados ao seu estado original ou melhor.

A implementação de práticas circulares no setor automóvel é impulsionada também por uma série de regulamentações europeias, como a *End-of-Life Vehicles Directive*, que estabelece metas rigorosas para a reutilização e reciclagem. Assim, as práticas de circularidade não são vistas apenas como uma obrigação legal, mas também como uma oportunidade para o setor automóvel se reinventar, melhorando a eficiência, promovendo a sustentabilidade e fortalecendo a competitividade no mercado global.

## **b. Reciclagem de baterias**

A transição para veículos elétricos trouxe novos desafios relacionados com a gestão das baterias de lítio no fim da sua vida útil. Estas baterias são compostas por materiais raros, como lítio, cobalto e níquel, que podem ser recuperados e reutilizados em novos processos produtivos, contribuindo para a redução da extração de matérias-primas (Harper et al., 2019). Todavia, a reciclagem destas baterias não é um processo simples, exigindo tecnologia para separar e purificar os materiais críticos presentes.

Atualmente, várias empresas têm investido na criação de sistemas eficazes para a reciclagem de baterias, um bom exemplo é a *Renault* que fez uma parceria com a *Veolia* e a *Solvay* para criar um ciclo fechado de produção, recuperando até 95% dos materiais críticos das baterias (Sauvet-Goichon, 2024). Estes materiais recuperados são reutilizados para a produção de novas baterias.

A União Europeia tem feito por fazer cumprir os regulamentos que obrigam os fabricantes a garantir a recolha e a reciclagem adequada das baterias em fim de vida. O *European Green Deal* e o Plano de Ação para a Economia Circular reforçam a necessidade de sistemas de reciclagem eficientes para reduzir os resíduos perigosos e aumentar a recuperação de recursos (European Commission, 2021).

A reciclagem de baterias é crucial para a sustentabilidade no setor automóvel,

garantindo segurança ambiental e competitividade a longo prazo, já que os materiais recuperados podem ser mais baratos e sustentáveis que os recursos primários.

### **c. Reutilização de peças**

A reutilização de peças automóveis é algo a crescer, impulsionada por uma combinação de fatores económicos e ambientais. À medida que a produção de veículos continua a crescer, a gestão eficiente dos componentes em fim de vida tornou-se uma prioridade para diminuir a pegada ecológica da indústria e minimizar o máximo o uso de recursos virgens. Temos um exemplo muito comum nos dias que correm, espelhos retrovisores, bancos e jantes são frequentemente recuperadas, inspecionadas e testadas para garantir a sua qualidade antes de serem reintroduzidas no mercado como peças recondiçionadas. Peças estas que são vendidas a um preço inferior, mas que garantem a qualidade.

Esta abordagem reduz a dependência de novas matérias-primas e diminui a produção de resíduos industriais, contribuindo para a redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à produção de novos componentes (Bonaparte, 2019). A Mercedes-Benz, que desenvolveu um programa específico para a reutilização de motores e transmissões, recuperando mais de 90% dos materiais desses componentes (Staichak, 2013).

O Plano de Ação para a Economia Circular reforça a importância de promover a economia circular no setor automóvel, destacando a reutilização como uma das principais estratégias para atingir os objetivos de sustentabilidade e neutralidade carbónica (European Commission, 2020).

### **d. Remanufacturing**

O conceito de *remanufacturing* representa uma das estratégias mais avançadas e sustentáveis no âmbito da economia circular. Trata-se de um processo industrial estruturado, no qual produtos usados são desmontados, inspecionados, reparados e restaurados a um estado funcional equivalente ou até superior ao original (Charter, 2008). O *remanufacturing* não se limita a reparar ou reutilizar peças; envolve uma abordagem sistemática de análise, substituição de componentes e atualização tecnológica.

Este processo é muito utilizado no setor automóvel, especialmente em componentes de alto valor como catalisadores, motores e sistemas de transmissão. Ao contrário da reciclagem, que reduz os materiais a matérias-primas básicas, o *remanufacturing* preserva o valor do produto ao manter a estrutura original, economizando recursos e energia

significativos (Sundin & Lee, 2012).

Marcas como a Caterpillar, Volvo e Mercedes-Benz têm investido fortemente no *remanufacturing* como uma parte crucial das suas estratégias de sustentabilidade. A Caterpillar, por exemplo, tem uma linha dedicada à reparação de motores e componentes hidráulicos, onde os clientes devolvem peças usadas em troca de componentes reconicionados, que são vendidos com garantia e a um preço mais acessível (Caterpillar, 2019)

Segundo a *European Remanufacturing Network* (ERN), essa prática pode reduzir o consumo de energia em até 85% e diminuir as emissões de carbono em 70% em comparação com a produção de novos componentes (Singhal et al., 2020).

Além dos benefícios ambientais, este processo apresenta um forte interesse económico para os consumidores, os componentes reconicionados oferecem uma alternativa mais barata, sem comprometer a qualidade. Para os fabricantes, esta abordagem representa uma oportunidade para reduzir custos de produção e abrir novas linhas de receita. Também permite melhorar a fidelização dos clientes, ao oferecer produtos mais acessíveis e sustentáveis (Liu et al., 2018). Durante o processo de desmontagem e inspeção, os fabricantes têm a oportunidade de identificar pontos de melhoria e implementar atualizações tecnológicas nos componentes, aumentando a sua eficiência e durabilidade (Bauer et al., 2020). Este ciclo de melhoria constante é fundamental para manter a competitividade no mercado automóvel global.

A União Europeia tem desempenhado um papel fundamental no incentivo ao *remanufacturing*, através de políticas como o Plano de Ação para a Economia Circular e o *European Green Deal*, que destacam esta prática como uma solução crucial para atingir os objetivos de sustentabilidade e neutralidade carbónica até 2050 (Comissão Europeia, 2020). No entanto, este enfrenta desafios. A perceção dos consumidores sobre produtos reconicionados ainda pode ser um obstáculo, apesar das garantias de qualidade. Apesar de tudo o que tem de bom, implementar e manter este processo requer investimentos iniciais significativos em tecnologia e formação de mão-de-obra especializada.

Apesar desses desafios, está a ganhar cada vez mais relevância, impulsionado pela crescente consciência ambiental e pela evolução das regulamentações. A grande diferença deste processo com o enunciado anteriormente, reutilização e peças é que este requer um processamento físico do componente. No anterior apenas é feita uma verificação / limpeza.

## 6. Legislação na Europa para a indústria automóvel

Na fase de projeto e desenvolvimento de veículos na indústria automóvel, é essencial assegurar que o produto final esteja em conformidade com todas as normas e regulamentações em vigor. Estas regras abrangem aspetos ambientais, segurança e sustentabilidade. Determinando os parâmetros técnicos e funcionais do veículo, garantindo a sua homologação para o mercado europeu. A conformidade com estas normas é uma exigência legal, mas também uma oportunidade para a indústria demonstrar o seu compromisso com a redução do impacto ambiental, a eficiência e a segurança dos utilizadores.

Entre as principais regulamentações ambientais, destacam-se as Normas de Emissões Euro, que definem limites para poluentes como óxidos de azoto (NOx), partículas em suspensão (PM), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC). De acordo com a Regulamentação Europeia 715/2007, atualmente na versão Euro 6 e em transição para a Euro 7, estas normas incluem metas ambiciosas para a redução de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), promovendo a utilização de tecnologias mais avançadas, motores e sistemas de exaustão mais eficientes. Estas medidas estão em linha com os compromissos assumidos no Acordo de Paris e reforçam a estratégia europeia para alcançar a neutralidade carbónica até 2050 (European Commission, 2021).

A transição para a **Norma Euro 7**, prevista para entrar em vigor em 2025, introduz requisitos ainda mais rigorosos para a medição de emissões em condições reais, abrangendo não apenas os gases de escape, mas também partículas emitidas pelos travões e pneus. Esta abordagem procura reduzir o impacto ambiental global dos veículos (Conselho da União Europeia, 2024).

Outra legislação essencial é a **Diretiva de Veículos em Fim de Vida (ELV - 2000/53/EC)**, que exige que os veículos sejam até 95% do seu peso total recicláveis em, além de proibir o uso de materiais perigosos, como chumbo, cádmio e mercúrio. Esta diretiva reflete a crescente preocupação com a economia circular, promovendo práticas sustentáveis no design e na produção automóvel (European Commission, 2023). Os fabricantes são incentivados a desenvolver soluções que facilitem a desmontagem, recuperação e reciclagem dos veículos em fim de vida, reduzindo assim os resíduos e o consumo de recursos naturais.

O **Regulamento REACH (1907/2006/EC)** regula o uso de substâncias químicas nos materiais e componentes dos veículos. Este regulamento impõe às empresas a responsabilidade de avaliar e minimizar os riscos associados às substâncias utilizadas, protegendo tanto o meio ambiente como a saúde pública. Como destacado pela Agência Europeia dos Produtos Químicos (ECHA), os fabricantes devem garantir que os produtos

estejam livres de substâncias de elevado risco, promovendo uma produção mais segura e sustentável. A REACH tem desempenhado um papel crucial na substituição de substâncias tóxicas por alternativas mais seguras.

No campo da segurança, o **Regulamento Geral de Segurança (2019/2144)** estabelece normas obrigatórias para a inclusão de tecnologias avançadas nos veículos. Entre estas, destacam-se os sistemas de assistência ao condutor (ADAS), travagem automática de emergência, deteção de ângulo morto e monitorização de fadiga do condutor. Estas tecnologias são fundamentais para reduzir a sinistralidade rodoviária e estão alinhadas com o objetivo europeu de reduzir em 50% as mortes nas estradas até 2030, conforme estabelecido no Quadro de Políticas de Segurança Rodoviária da UE (2021-2030) (European Commission, 2019)

Para os veículos elétricos e híbridos, o projeto deve seguir regulamentações específicas sobre baterias, abrangendo critérios de sustentabilidade, segurança e compatibilidade eletromagnética. O **Regulamento de Baterias 2023/1542** estabelece diretrizes rigorosas para a produção, reciclagem e reutilização de baterias de veículos elétricos, promovendo uma economia circular para este componente crítico (European Commission, 2023). Além disso, os fabricantes devem assegurar que as baterias atendam a padrões de durabilidade e eficiência energética.

Os procedimentos de teste e homologação também desempenham um papel crucial na fase de desenvolvimento. O ciclo de medição WLTP (*Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure*), introduzido em 2017, permite obter resultados mais realistas sobre o consumo de combustível e as emissões de CO<sub>2</sub> em condições controladas. Já o RDE (*Real Driving Emissions*) mede as emissões em condições reais de condução, garantindo maior transparência e precisão na avaliação do desempenho ambiental dos veículos (ICCT, 2024).

Cumprir e fazer cumprir estas legislações durante todas as fases do projeto e desenvolvimento assegura a aprovação legal necessária para a comercialização do veículo, mas também incentiva a inovação tecnológica e a adoção de práticas mais sustentáveis.

### **a. Influência da legislação europeia na circularidade nas empresas da indústria automóvel**

A legislação europeia não se limita a definir metas ambientais, impõe transformações estruturais obrigatórias na indústria automóvel, condicionando diretamente as estratégias de produção, design e gestão de resíduos. O seu carácter vinculativo força os fabricantes a adotar práticas de economia circular, não apenas como uma escolha ética, mas como uma

necessidade legal para evitar penalizações financeiras e a perda de competitividade no mercado europeu (Kirchherr et al., 2017).

Uma das formas mais eficazes de aplicação da circularidade pela legislação é através da Responsabilidade Alargada do Produtor (EPR). Este princípio obriga os fabricantes a assumir a responsabilidade pelo destino final dos veículos, incluindo a recolha, reciclagem e correta gestão dos resíduos em fim de vida (OECD, 2016). Empresas que não cumprem as metas estabelecidas enfrentam multas pesadas e restrições comerciais, tornando a conformidade uma questão de sobrevivência empresarial. Assim, a legislação atua como um incentivo para o desenvolvimento de soluções inovadoras e processos produtivos mais eficientes (Ghisellini et al., 2016).

Outro mecanismo de pressão é o Regulamento de Metas de Emissões de CO<sub>2</sub> para veículos novos. As empresas que ultrapassam os limites de emissões estabelecidos pela Regulamentação Europeia 2019/631 são obrigadas a pagar multas calculadas com base no excesso de gramas de CO<sub>2</sub> emitidos por veículo (European Commission, 2020). O sistema leva muitas marcas a desenvolver tecnologias de baixo carbono, como sistemas híbridos e elétricos, e a investir em processos produtivos mais sustentáveis. As sanções são significativas para a inovação tecnológica e revisão das cadeias de abastecimento.

A legislação também estimula a transparência nas cadeias de valor e a rastreabilidade dos materiais utilizados. Regulamentos como o REACH (1907/2006/EC) exigem que os fabricantes identifiquem e substituam substâncias químicas perigosas, promovendo uma abordagem mais segura e sustentável na produção automóvel (ECHA, 2023). Este tipo de norma cria uma dinâmica de melhoria contínua, uma vez que a conformidade requer constante atualização de processos e materiais, estimulando parcerias estratégicas e novas soluções no mercado de matérias-primas secundárias.

A par com as medidas punitivas, a legislação oferece também incentivos financeiros e fiscais para as empresas que investem em práticas de economia circular. Programas de financiamento europeus, como o *Horizon Europe*, destinam fundos a projetos de inovação que promovam a sustentabilidade e a circularidade no setor automóvel. Estas oportunidades não só ajudam a mitigar os custos iniciais de transição para práticas mais circulares, mas também criam vantagens competitivas para as empresas mais ágeis e adaptáveis (Moreno et al., 2016).

## **b. Incentivos fiscais para a circularidade**

Apesar das exigências rigorosas impostas pela legislação europeia para alcançar a circularidade, não se trata apenas de um sistema punitivo. Além das metas obrigatórias e sanções para quem não cumpre os requisitos, as normas europeias oferecem também

incentivos fiscais e financeiros. Estes incentivos têm como objetivo atenuar os custos iniciais de adaptação e promover a inovação, criando um ambiente mais favorável à adoção de soluções circulares.

Estes benefícios incluem redução de taxas sobre equipamentos de produção sustentável, deduções fiscais para investimentos em tecnologia limpa e isenções de impostos sobre materiais reciclados utilizados na produção (European Commission, 2021).

Por exemplo, alguns Estados-Membros oferecem deduções fiscais progressivas para empresas que investem na melhoria da eficiência energética das suas instalações ou que integram materiais reciclados na fabricação de novos veículos. Estas deduções podem atingir até 30% do valor do investimento, reduzindo significativamente o impacto financeiro inicial da transição para modelos de produção mais circulares (Domenech & Bahn-Walkowiak, 2019).

Reduções no imposto sobre veículos (ISV) são aplicadas em muitos países europeus para encorajar a produção e aquisição de veículos elétricos e híbridos, que têm uma pegada ambiental reduzida. Estas reduções tornam os veículos mais acessíveis aos consumidores, aumentando a procura e incentivando os fabricantes a expandirem as suas linhas de produção sustentável (Ghisellini et al., 2016).

Os programas de financiamento europeus, como o *Horizon Europe* e o *European Innovation Fund*, desempenham um papel crucial no apoio à inovação tecnológica e ao desenvolvimento de práticas de circularidade no setor automóvel. Estes fundos oferecem financiamento direto para projetos de investigação e desenvolvimento (R&D) relacionados com a reciclagem de materiais, eco design e inovação em baterias de veículos elétricos (Kirchherr et al., 2017).

O *Horizon Europe* é o maior programa de financiamento de investigação e inovação da União Europeia, com um orçamento de cerca de 95,5 mil milhões de euros para o período de 2021-2027. Este programa tem como objetivo promover a excelência científica, acelerar a inovação e apoiar soluções sustentáveis que possam contribuir para os objetivos ambientais e económicos definidos no *Green Deal* Europeu. No contexto da economia circular e da indústria automóvel, este desempenha um papel fundamental ao financiar projetos que promovam a redução de emissões, a reciclagem avançada de materiais, a otimização do ciclo de vida dos produtos e o desenvolvimento de novas tecnologias para veículos sustentáveis.

O programa está dividido em três pilares principais:

- **Ciência de Excelência**, que apoia a investigação fundamental e o desenvolvimento de novas ideias através de projetos de investigação de ponta.
- **Desafios Globais e Competitividade Industrial**, que concentra esforços em

áreas como o combate às mudanças climáticas, a mobilidade sustentável e a economia circular.

- **Europa Inovadora**, que facilita a transição das inovações do laboratório para o mercado, através de financiamento para *startups* e pequenas e médias empresas (PMEs).

No setor automóvel, o *Horizon Europe* oferece financiamento para iniciativas que promovam o desenvolvimento de baterias de longa duração, materiais recicláveis para veículos e soluções de mobilidade limpa. Por exemplo, projetos de investigação que exploram a reciclagem de baterias de lítio, o uso de biomateriais para componentes de veículos e tecnologias de eco-design podem ser elegíveis para financiamento. Este apoio é vital para pequenas e médias empresas (PMEs), que muitas vezes não dispõem de recursos financeiros para investir em inovação a longo prazo (Kirchherr et al., 2017).

Esta abordagem colaborativa facilita a troca de conhecimentos e acelera o desenvolvimento de tecnologias disruptivas, garantindo que a Europa permaneça competitiva no mercado global (European Commission, 2019).

Além dos programas europeus, muitos países da União Europeia oferecem incentivos nacionais e locais para apoiar a transição para uma economia circular. Esses incentivos incluem subvenções diretas, linhas de crédito com taxas reduzidas e fundos específicos para a modernização de infraestruturas produtivas. Países como a Alemanha e a Holanda, tem os seus fabricantes a obter financiamentos para modernizar as suas fábricas e adaptá-las para a produção sustentável, desde que demonstrem o impacto positivo das mudanças nas suas operações (OECD, 2016).

Em paralelo, várias cidades e regiões europeias têm criado fundos de inovação regional para promover a reciclagem de veículos em fim de vida e apoiar a reutilização de peças, reforçando as economias locais e reduzindo a dependência de materiais importados (Harper et al., 2019). Outro mecanismo de incentivo promovido pela legislação europeia é o estímulo a parcerias público-privadas (PPPs), que incentivam a partilha de recursos e a colaboração entre o setor público e empresas privadas. Estas parcerias ajudam a reduzir os riscos financeiros das empresas, proporcionando acesso a conhecimento técnico e inovação partilhada (Sundin & Lee, 2012).

Os incentivos fiscais e financeiros, quando combinados com as metas obrigatórias de sustentabilidade, têm desempenhado um papel fundamental na aceleração da transição para a economia circular no setor automóvel. Estes mecanismos não só aliviam o impacto financeiro das mudanças necessárias, mas também criam um ambiente de estímulo à inovação e à colaboração entre empresas, governos e institutos de investigação.

## 7. Influência da circularidade na taxa de reciclagem dos veículos

### a. Europa

A evolução da circularidade no setor automóvel tem sido impulsionada por uma combinação de regulamentações europeias, inovação tecnológica e iniciativas empresariais focadas na sustentabilidade. A análise dos indicadores-chave, como a **taxa de reciclagem de veículos** e a **redução das emissões de CO<sub>2</sub>**, permite compreender o impacto das políticas adotadas e os progressos realizados na última década.

A taxa de reciclagem de veículos na Europa tem sido uma métrica essencial para avaliar o progresso da economia circular no setor automóvel. Desde a implementação da Diretiva de Veículos em Fim de Vida (2000/53/EC), a União Europeia tem trabalhado para garantir que os fabricantes adotem práticas de recuperação e reutilização de materiais, reduzindo a dependência de matérias-primas virgens e promovendo a sustentabilidade. O gráfico seguinte apresenta a evolução da taxa de reciclagem de veículos entre 2008 e 2022. Este indicador revela o impacto direto das estratégias adotadas por fabricantes para atingir o objetivo de 95% de reutilização e reciclagem estipulada pela legislação europeia.

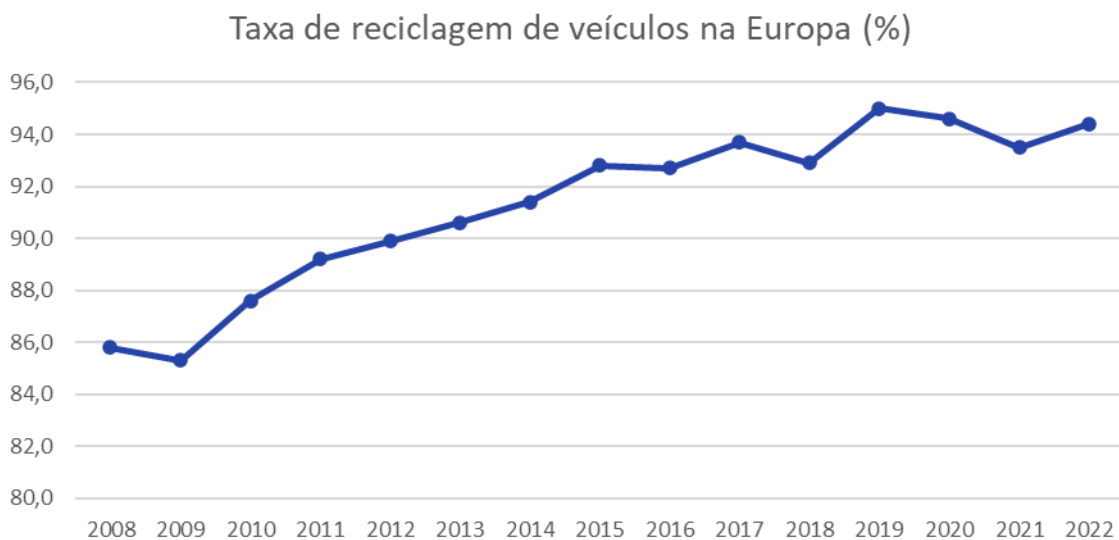


Figura 17 - Taxa de reciclagem de veículos na Europa desde 2008 até 2022.

Adaptado de: (Eurostat, 2024)

No início do período analisado, em 2008, a taxa de reciclagem situava-se nos 86%, mas um crescimento consistente foi observado até 2012, quando a taxa atingiu 90%. Este aumento deve-se à implementação inicial das obrigações impostas pela diretiva europeia, que levou as empresas a adaptar os seus processos de design e produção para facilitar a desmontagem e recuperação de materiais (Eurostat, 2024).

Entre 2012 e 2018, a taxa estabilizou em torno dos 92%, evidenciando um período de consolidação das práticas industriais. Durante esta fase, muitas empresas focaram-se na melhoria dos processos de recuperação e reciclagem, investindo em novas tecnologias para separar e reaproveitar componentes valiosos, como metais comuns, metais preciosos e plásticos (ACEA, 2022). O desenvolvimento de novas infraestruturas de reciclagem e a cooperação entre fabricantes e operadores de gestão de resíduos desempenharam um papel crucial nesta estabilização (ICCT, 2021).

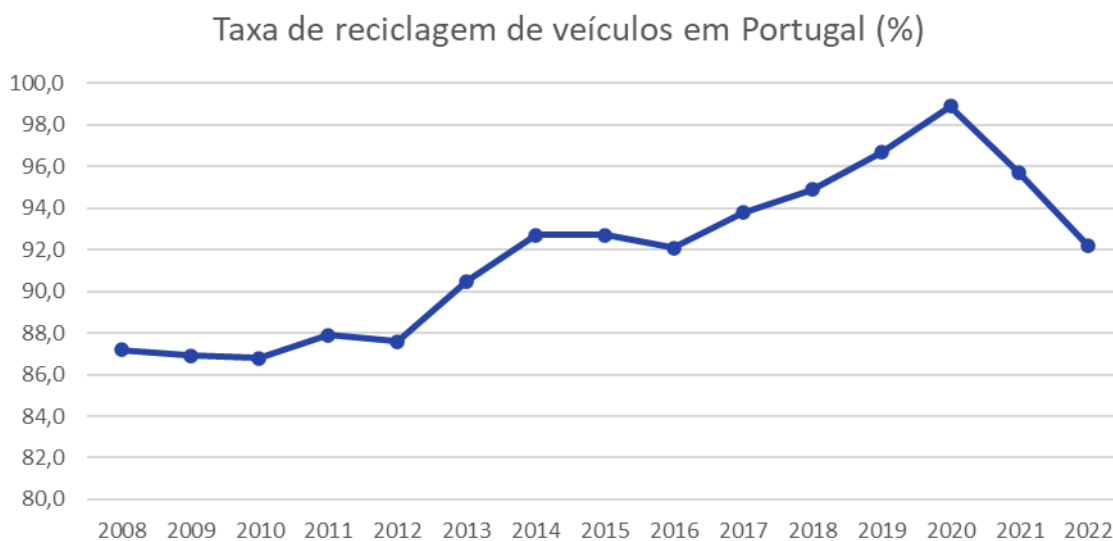
A partir de 2018, observa-se uma nova tendência de crescimento, com a taxa de reciclagem a atingir 94% em 2022, aproximando-se da meta europeia de 95%. Empresas como a Renault e a BMW, estão a adotar estratégias que permitem uma desmontagem mais eficiente e uma maior recuperação de materiais de forma eficiente (BMW Group, 2022; Renault Group, 2021).

Além disso, o desenvolvimento de tecnologias avançadas de reciclagem melhorou a eficiência na separação e processamento de materiais críticos, como aço, alumínio e polímeros, reduzindo o desperdício e aumentando a taxa de reaproveitamento (Eurostat, 2024). Parcerias estratégicas entre fabricantes e empresas especializadas em gestão de resíduos também desempenharam um papel fundamental na melhoria da infraestrutura de reciclagem (Harper et al., 2019).

O gráfico demonstra claramente que a indústria automóvel europeia está a caminhar de forma consistente para atingir as metas de sustentabilidade estabelecidas. Com 94% de reciclagem alcançados em 2022, a Europa consolida-se como uma das regiões mais avançadas na promoção da economia circular no setor automóvel. Este progresso não só reduz a dependência de matérias-primas virgens, mas também contribui para uma diminuição significativa do impacto ambiental associado à produção de veículos (EEA, 2024).

## **b. Portugal**

Portugal tem implementado estratégias para melhorar a recolha, recuperação e reciclagem de veículos, garantindo uma utilização mais eficiente dos recursos. O gráfico seguinte apresenta a evolução desta taxa entre 2008 e 2022, destacando as principais flutuações e os progressos alcançados no cumprimento das metas estabelecidas pela União Europeia, que visam atingir uma taxa de reciclagem mínima de 95% (European Commission, 2023).



*Figura 18 - Taxa de reciclagem de veículos em Portugal desde 2008 até 2022.*

*Adaptado de: (Eurostat, 2024)*

O gráfico da figura 18 mostra a evolução da taxa de reciclagem de veículos em Portugal entre 2008 e 2022, destacando um padrão geral de crescimento, embora com algumas flutuações significativas nos últimos anos. No início do período analisado, a taxa de reciclagem situava-se nos 86% em 2008, mantendo-se relativamente estável até 2012, com pequenas variações. Esta fase inicial reflete os desafios enfrentados pelas infraestruturas nacionais para se adaptarem às novas exigências da Diretiva Europeia de Veículos em Fim de Vida (APA, 2020). Entre 2013 e 2014, a taxa de reciclagem aumentou de forma significativa, atingindo 92% em 2014, o que evidencia os efeitos das primeiras medidas de reforço das capacidades de reciclagem, nomeadamente o estabelecimento de parcerias entre empresas de gestão de resíduos e fabricantes automóveis (APA, 2024).

A evolução foi mais gradual nos anos seguintes, com a taxa a manter-se entre 92% e 94% até 2019, refletindo uma fase de estabilização das práticas de reciclagem no país. O maior crescimento foi registado em 2020, quando a taxa de reciclagem atingiu o pico de 96%. Este aumento deve-se, em parte, ao impacto da pandemia de COVID-19, que levou a uma maior disponibilização de veículos em fim de vida, permitindo um maior aproveitamento dos materiais recicláveis (ACEA, 2024).

Contudo, após este pico, observa-se uma descida acentuada para 92% em 2022, refletindo as dificuldades recentes enfrentadas pelo setor, incluindo desafios logísticos e a crescente complexidade dos materiais utilizados nos veículos modernos (APA, 2024).

O gráfico revela que, apesar dos progressos alcançados, a taxa de reciclagem de veículos em Portugal enfrenta flutuações devido a fatores estruturais e conjunturais. O

caminho para uma taxa de reciclagem constante acima de 95%, tal como estipulado pela Diretiva Europeia, exigirá novos investimentos em tecnologias de reciclagem e uma cooperação mais estreita entre o setor público e privado.

## **8. Desafios e limitações da circularidade**

A mudança para uma economia circular é uma boa oportunidade para a indústria automóvel reduzir o impacto ambiental, mas a implementação prática desse modelo enfrenta vários desafios. Muitas barreiras ainda precisam ser superadas para uma circularidade efetiva e sustentável. Embora a Diretiva Europeia de Veículos em Fim de Vida (2000/53/EC) estabeleça metas claras para a recuperação e reciclagem de veículos, os países e as empresas encontram-se em diferentes níveis de maturidade em relação à aplicação dessas práticas. Alguns dos principais obstáculos incluem a falta de infraestruturas adequadas, dificuldades regulatórias, a complexidade tecnológica associada à gestão de materiais, e a necessidade de maior sensibilização e aceitação por parte do mercado (European Commission, 2020).

### **a. Limitações Económicas e Financeiras**

Um dos maiores desafios enfrentados pelas empresas é o custo elevado associado à implementação de práticas de economia circular. A transformação de processos produtivos para integrar a reciclagem e a reutilização de componentes exige investimentos iniciais significativos, especialmente na construção de novas infraestruturas e na adoção de tecnologias avançadas para armazenamento e tratamento de resíduos (Harper et al., 2019).

As PME's, que constituem uma parte importante da cadeia de fornecimento da indústria automóvel, enfrentam maiores dificuldades financeiras, uma vez que nem sempre conseguem aceder a linhas de crédito específicas para inovação, estas empresas têm mais dificuldades a aceder aos financiamentos governamentais pois, normalmente, não conseguem justificar melhorias necessárias para o financiamento. O custo de instalação de uma unidade de reciclagem de baterias, por exemplo, pode ultrapassar os 30 milhões de euros, o que torna a adoção dessas práticas inviável para muitas empresas (ACEA, 2022).

Apesar de os fabricantes de veículos de grande dimensão, como a Renault, conseguirem fazer investimentos em economia circular através da criação de unidades como a *Re-Factory*, dedicada ao acondicionamento de veículos e componentes, os resultados económicos só começam a ser visíveis a médio e longo prazo (Renault Group, 2021). Este retorno financeiro lento, aliado à incerteza sobre a aceitação de produtos reconicionados pelo mercado, faz com que muitas empresas sejam cautelosas na adoção de modelos circulares (Moreno et al., 2016)

## **b. Infraestruturas insuficientes e desigualdade regional**

Outro obstáculo importante para a circularidade na indústria automóvel é a falta de infraestruturas de reciclagem adequadas em alguns países europeus. Embora países como Alemanha, França e Países Baixos disponham de instalações modernas para a reciclagem e recuperação de materiais, outros, como Portugal e Polónia, ainda estão a desenvolver sistemas capazes de lidar com o volume crescente de veículos em fim de vida (EEA, 2024).

Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2020), Portugal enfrenta dificuldades para garantir a cobertura nacional completa de unidades de desmantelamento certificadas, limitando a eficiência do processo de recuperação de materiais. A desigualdade regional na aplicação das políticas de reciclagem cria uma fragmentação no desempenho dos Estados-Membros, dificultando o alcance das metas estabelecidas pela União Europeia.

A construção de novas infraestruturas de reciclagem requer um esforço coordenado entre o setor público e privado, além de incentivos financeiros específicos para garantir a sua viabilidade. As parcerias público-privadas são apontadas como a solução para acelerar este desenvolvimento (ACEA, 2022).

## **c. Desafios regulatórios e burocráticos**

Apesar de a União Europeia ter implementado um quadro regulatório abrangente para promover a economia circular, ainda existem lacunas legais e interpretações divergentes entre os diferentes Estados-Membros.

A Diretiva de Veículos em Fim de Vida (2000/53/EC) define metas claras para a reciclagem e reutilização de componentes, mas a sua aplicação prática varia significativamente entre os países. Esta disparidade cria desigualdades competitivas e dificulta o acompanhamento e fiscalização dos resultados a nível europeu (European Commission, 2023). A legislação não acompanhou o rápido avanço tecnológico dos veículos elétricos, particularmente no que diz respeito à gestão de baterias em fim de vida. Enquanto alguns países desenvolveram regulamentos claros para a segunda vida das baterias, outros ainda não possuem qualquer legislação específica, o que gera incertezas para as empresas (ICCT, 2021). A falta de normas uniformes sobre a rastreabilidade dos materiais críticos, como lítio, cobalto e níquel, dificulta a criação de uma cadeia de valor circular para as baterias.

#### **d. Complexidade tecnológica dos materiais**

A crescente sofisticação tecnológica dos veículos modernos representa outro grande desafio para a economia circular. O uso de materiais compósitos avançados, como fibra de carbono, e ligas metálicas especiais aumenta a eficiência e segurança dos veículos, mas dificulta o processo de reciclagem, já que muitas tecnologias atuais não conseguem separar adequadamente esses componentes (Ghisellini et al., 2016).

A reciclagem de baterias de lítio é um exemplo claro dessa complexidade. Embora sejam um dos componentes mais críticos nos veículos elétricos, apenas 5% das baterias de lítio são atualmente recicladas na Europa, segundo a International Energy Agency (IEA, 2021). A recuperação de lítio, cobalto e níquel requer tecnologias especializadas e procedimentos altamente controlados, o que aumenta o custo e a dificuldade do processo (Harper et al., 2019).

Podemos também ter em consideração que, a reciclagem de fibra de carbono apresenta uma eficiência média de apenas 30%, limitando a sua reutilização em novos componentes automóveis (Koumoulos et al., 2019)

#### **e. Falta de sensibilização e aceitação do mercado**

A falta de sensibilização e informação sobre os benefícios da economia circular continua a ser uma barreira significativa. Muitos consumidores ainda têm uma percepção negativa dos produtos recondicionados, associando-os a uma qualidade inferior em comparação com peças novas (Moreno et al., 2016).

Embora algumas empresas tenham conseguido educar o mercado sobre a equivalência de qualidade entre componentes novos e recondicionados, como a BMW, muitas outras enfrentam resistência por parte dos consumidores. Além disso, os incentivos diretos para o consumidor final são limitados em vários países, o que reduz a atratividade de veículos mais sustentáveis.

## Estudo de caso

### 9. Introdução

A preocupação com a sustentabilidade e a falta de recursos naturais estão a levar à mudança para um modelo de economia circular na indústria automóvel. Antigamente era focada na extração de matérias-primas, produção e descarte, a indústria enfrenta agora o desafio de diminuir o impacto no meio ambiente ao longo do ciclo de vida dos veículos, ajudando a reutilização e reciclagem de materiais. Nesse caso, as empresas de automóveis estão a adotar ideias novas para reduzir os gastos, usar melhor os recursos e fazer automóveis mais sustentáveis.

Entre as empresas que se destacam neste processo, a Tesla e a BMW têm abordagens diferentes, mas relevantes para a implementação da economia circular no setor. A Tesla, reconhecida pelo seu modelo de negócio altamente verticalizado e inovação tecnológica, aposta forte na reciclagem de baterias, na utilização de materiais alternativos nos interiores dos carros e na produção sustentável através das suas *Gigafactories*. Por outro lado, a BMW considera a economia circular um princípio básico do seu design e produção, seguindo uma abordagem baseada nos pilares *Re:think*, *Re:duce*, *Re:use* e *Re:cycle*, com o objetivo de maximizar o uso de materiais recicláveis e a reciclabilidade dos seus carros ao final da sua vida útil.

Este estudo tem como objetivo comparar os desenvolvimentos circulares implementados pela Tesla e pela BMW, analisando as estratégias adotadas por ambas as empresas para reduzir o impacto ambiental dos seus produtos e processos produtivos. Para tal, será utilizada uma metodologia baseada na revisão de literatura e na análise de relatórios bibliográficos e de sustentabilidade publicados pelas próprias marcas e por fontes especializadas. Através desta análise comparativa, pretende-se identificar boas práticas para a implementação da economia circular na indústria automóvel, contribuindo para uma reflexão mais ampla sobre o futuro sustentável do setor.

## **10. Enquadramento teórico**

Conforme discutido na revisão bibliográfica, a economia circular tem se tornado um pilar fundamental para a sustentabilidade da indústria automóvel, com estratégias focadas na redução de resíduos, reutilização de materiais e processos produtivos mais eficientes. No contexto deste estudo, torna-se relevante analisar como duas das maiores fabricantes automóveis, Tesla e BMW, estão a aplicar esses princípios nos seus modelos de negócio e na conceção dos seus produtos, a secção seguinte apresenta um estudo de caso comparativo entre as práticas circulares adotadas por ambas as empresas, evidenciando as suas semelhanças, diferenças e desafios enfrentados na implementação dessas estratégias.

## **11. Apresentações das empresas em estudo e estratégias circulares**

A Tesla e a BMW são duas das marcas automóveis que se têm destacado na adoção de práticas de economia circular e sustentabilidade. Embora sigam abordagens diferentes, ambas procuram reduzir a pegada ecológica da indústria automóvel, impulsionando a inovação e a eficiência na utilização de recursos.

### **a. Tesla**

A Tesla, foi fundada em 2003 por um grupo de engenheiros, incluindo Martin Eberhard e Marc Tarpenning, com a visão de criar veículos elétricos eficientes e tecnologicamente avançados. O nome da empresa foi inspirado no cientista Nikola Tesla, pois contribuiu ativamente para que fosse possível desenvolver tecnologias de eletrificação dos automóveis. Embora Elon Musk não tenha sido um dos fundadores originais, investiu na empresa nos seus primeiros anos e tornou-se o seu CEO em 2008, desempenhando um papel crucial na expansão e no sucesso da Tesla.

O primeiro grande lançamento da empresa foi o Tesla Roadster, apresentado em 2008. Este modelo desportivo elétrico, baseado no chassis do Lotus Elise, foi um dos primeiros veículos a demonstrar que os automóveis elétricos podiam ter alta performance, acelerando de 0 a 100 km/h em menos de quatro segundos e oferecendo uma autonomia superior a 350 km, um feito notável para um carro elétrico na época. Apesar de não ter sido um sucesso comercial, o Roadster ajudou a Tesla a atrair investidores e estabeleceu a base para os futuros modelos da marca.

A Tesla seguiu um plano estratégico conhecido como Master Plan, anunciado por Elon Musk, que consistia em três etapas (Musk, 2006):

- Criar um carro elétrico premium (o Roadster) para financiar o desenvolvimento de modelos mais acessíveis.
- Usar os lucros para lançar um sedan de luxo (Model S) e um SUV elétrico (Model X).
- Utilizar a receita gerada para desenvolver veículos elétricos mais acessíveis (Model 3 e Model Y), aumentando a adoção em massa da mobilidade elétrica.

O Tesla Model S, lançado em 2012, consolidou a marca como uma referência no setor automóvel elétrico, destacou-se pela sua elevada autonomia, capacidade de carregamento rápido e tecnologia avançada, incluindo um ecrã central tátil de grandes dimensões e funcionalidades de condução semiautónoma. Posteriormente, em 2015, foi lançado o Model X, um SUV elétrico reforçando o compromisso da Tesla com a inovação (Sage, 2015).

Em 2017, a Tesla introduziu o Model 3, o seu primeiro veículo de produção em massa, desenhado para tornar a mobilidade elétrica acessível a um público mais amplo. O Model 3 tornou-se rapidamente um dos veículos elétricos mais vendidos no mundo, impulsionando a Tesla para o sucesso financeiro e tornando-se a marca automóvel mais valiosa em termos de capitalização de mercado. Além dos veículos elétricos, a Tesla expandiu-se para outras áreas, incluindo armazenamento de energia e produção de painéis solares através da aquisição da *SolarCity*, empresa produtora de semi-condutores para energias renováveis. A empresa desenvolveu produtos como as *Powerwalls* e *Powerpacks*, soluções de armazenamento de energia para residências e empresas, permitindo um maior aproveitamento das energias

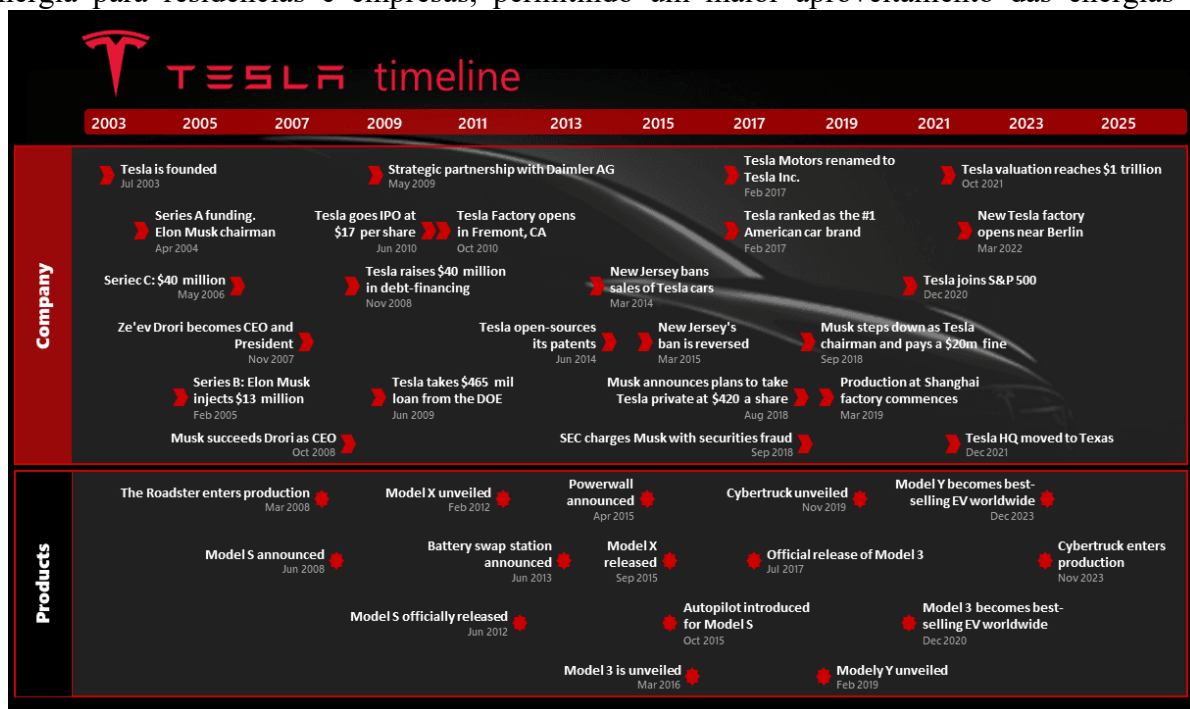


Figura 19 - Evolução da empresa Tesla Inc.

renováveis (Wang, 2024).

Fonte: (Malik, 2024)

## **i. Estratégia de sustentabilidade e inovação tecnológica**

A Tesla tem-se destacado na indústria automóvel não só pela inovação em veículos elétricos, mas também pelo seu compromisso com a sustentabilidade e pela incorporação de princípios de economia circular. A empresa adota um modelo de negócio altamente verticalizado, incorporando processos de produção de componentes intermédios no mesmo espaço de produção do produto final (veículo). Esta abordagem permite à Tesla reduzir custos, otimizar a eficiência e garantir um controlo rigoroso sobre os seus processos produtivos, minimizando o impacto ambiental associado à sua cadeia de fornecimento (Tesla, 2023).

### **1. Produção sustentável e *gigafactories***

A Tesla tem procurado redefinir a indústria automóvel através de um modelo de produção altamente eficiente e sustentável, centrado na implementação das suas *Gigafactories*. Estas instalações de grande escala não só aumentam a capacidade de produção da empresa, mas também incorporam tecnologias inovadoras para minimizar o impacto ambiental da fabricação de veículos elétricos e baterias. A abordagem da Tesla baseia-se em três pilares fundamentais: energia renovável, eficiência produtiva e circularidade dos materiais (Tesla, 2023). O conceito destas são de áreas enormes, como podemos na figura 20, onde são realizados processos, desde os mais primitivos aos mais complexos como a produção do veículo.

Desde o lançamento da *Gigafactory* Nevada, em 2016, a Tesla tem vindo a expandir este conceito para diversas partes do mundo, garantindo que cada nova instalação é mais eficiente e sustentável do que a anterior. Atualmente, a empresa conta com várias em operação:

- *Nevada* (EUA) – Responsável pela produção de baterias de iões de lítio para veículos e sistemas de armazenamento de energia. Esta fábrica utiliza uma elevada percentagem de eletricidade proveniente de fontes renováveis, incluindo painéis solares instalados no telhado (Tesla, 2023).
- *Shanghai* (China) – Principal unidade produtora do Model 3 e Model Y para o mercado asiático. É um dos centros de produção automóvel mais avançados da China e opera com um modelo de alta eficiência, reduzindo significativamente os tempos de produção por unidade (Tesla, 2022).

- *Berlin-Brandenburg* (Alemanha) – A fábrica mais avançada da Tesla na Europa, que tem como objetivo produzir centenas de milhares de veículos Model Y por ano. Além da fabricação de veículos, também se dedica à produção de milhões de células de bateria, reduzindo a dependência da Europa de fornecedores externos (Naor, 2022).
- *Texas* (EUA) – Focada na produção do Model Y e do Cybertruck, incorpora processos de fabrico inovadores, como o Giga Press, um equipamento de moldagem que permite reduzir o número de peças de chassis dos veículos, tornando a produção mais eficiente e menos poluente (Tesla, 2023).

Cada uma delas foi projetada para funcionar com energia 100% renovável e reduzir a pegada de carbono associada à produção. A Tesla pretende que todas as suas instalações futuras sejam autossuficientes em termos energéticos, combinando painéis solares, energia eólica e armazenamento de energia em larga escala (Tesla, 2023).

Além da utilização de energias renováveis, a Tesla implementa sistemas de reaproveitamento de calor residual e redução de desperdícios industriais, contribuindo para uma produção mais sustentável. Estas práticas resultam numa redução de até 50% no consumo energético por veículo produzido, em comparação com fábricas automóveis tradicionais (Tesla, 2023). No universo atual das empresas de produção de automóveis, a Tesla é pelos indicadores, uma, ou até mesmo a empresa mais eficiente energeticamente.

A Tesla utiliza robôs e inteligência artificial para otimizar o processo produtivo, garantindo uma produção mais eficiente e reduzindo o desperdício de materiais. A empresa também investe em métodos de reciclagem interna, reaproveitando materiais que sobram da fabricação para novos componentes (Anurag, 2024).



*Figura 20 - Vista aérea da Gigafactory Nevada.*

## 2. Reciclagem e reutilização de baterias

Reciclagem e reutilização de baterias de íons de lítio são elementos centrais da estratégia de sustentabilidade da Tesla, refletindo um modelo de economia circular. A Tesla investe em processos para reaproveitar materiais críticos nas baterias, como lítio, níquel e cobalto. A empresa procura maximizar a durabilidade e reutilização das baterias para reduzir a necessidade de extração de novos recursos naturais.

O processo de reciclagem da Tesla é fechado, permitindo que as baterias que atingem o fim da vida útil sejam recolhidas, desmontadas e avaliadas para a melhor forma de reaproveitamento. As células são recuperadas para reutilização, enquanto as danificadas ou degradadas são desmontadas para extrair os principais componentes. A Tesla recupera materiais como lítio, níquel, cobalto, cobre e alumínio com processos mecânicos e químicos avançados, para produzir baterias novas. Este sistema reduz significativamente a necessidade de mineração e impede que resíduos perigosos sejam depositados em aterros, contribuindo para um modelo sustentável de produção. Segundo o Relatório de Sustentabilidade da Tesla de 2023, 100% das baterias que chegam à vida útil são recicladas e nenhum resíduo de íons de lítio é enviado para aterros, representando um marco importante na gestão sustentável destes componentes (Tesla, 2023).

Além da reciclagem, a Tesla tem investido na reutilização de baterias que ainda mantêm uma boa capacidade de armazenamento. Muitos dos componentes retirados dos veículos podem ser aproveitados em sistemas estacionários de armazenamento de energia, contribuindo para a estabilidade da rede elétrica e para uma integração mais eficiente das energias renováveis. A Tesla usa essas baterias nos seus produtos de armazenamento de energia, como o *Powerwall*, que armazena eletricidade de painéis solares para uso em períodos de menor produção energética. A empresa também desenvolveu sistemas como o *Powerpack* e o *Megapack*, que armazenam grandes quantidades de energia para uso em redes elétricas e infraestruturas industriais. Este reaproveitamento prolonga a vida útil das baterias e contribui para uma transição energética mais eficiente (Naor, 2022).

O compromisso da Tesla com a reciclagem e reutilização de baterias representa um progresso significativo para a indústria de veículos elétricos. A empresa reduz a necessidade de novos recursos e diminui o impacto ambiental da produção de baterias. A Tesla é uma das marcas mais inovadoras e sustentáveis do mundo, mostrando que a mobilidade elétrica pode ser uma alternativa viável aos combustíveis fósseis, mas também um modelo de produção verdadeiramente sustentável (Barman et al., 2023).

### **3. Utilização de materiais sustentáveis**

A Tesla tem-se concentrado em utilizar componentes que são benéficos para o meio ambiente na fabricação dos seus automóveis, o que tem demonstrado uma nova forma de diminuir os impactos negativos causados ao planeta. A implementação de diversas ações com o objetivo de substituir materiais de origem animal, diminuir a necessidade de novos recursos e aumentar o uso de materiais reciclados. Essas estratégias permitem diminuir o impacto de carbono na sua produção (Tesla, 2023).

Um dos exemplos mais notáveis deste compromisso é a eliminação do couro de origem animal nos interiores dos veículos, substituindo-o por materiais sintéticos e sustentáveis. A Tesla introduziu os chamados “estofos vegan”, que oferecem a mesma qualidade e durabilidade do couro tradicional, mas sem a necessidade de recorrer a produtos de origem animal. Desde 2017, toda a gama de modelos da Tesla deixou de utilizar couro nos bancos e nos volantes, optando por alternativas sintéticas desenvolvidas para garantir conforto e resistência ao desgaste (Anurag, 2024). Esta mudança foi particularmente impulsionada por preocupações ambientais e éticas, uma vez que a produção de couro envolve processos altamente poluentes, como o uso intensivo de água e produtos químicos tóxicos no curtimento das peles (Naor, 2022).

Esta abordagem permite não só reduzir o impacto ambiental da produção automóvel, como também diminuir a dependência de recursos fósseis na fabricação de componentes interiores (Tesla, 2022). Um dos melhores exemplos desta estratégia pode ser encontrado no Tesla Model 3, onde grande parte dos tecidos utilizados no interior são feitos de materiais reaproveitados, contribuindo para uma economia circular mais eficiente (Barman et al., 2023), este exemplo está representado na figura 21.

Outro ponto crucial da estratégia da Tesla em relação ao uso de materiais sustentáveis é a redução do uso de plásticos descartáveis nas embalagens e componentes dos veículos. A organização reviu todos os seus processos logísticos e produtivos para diminuir o uso de plásticos de uso único, substituindo-os por alternativas biodegradáveis ou recicláveis. Noutro prisma, a Tesla, usa metais reciclados, como alumínio e aço, a utilização de alumínio reciclado reduz a pegada de carbono, pois produz até 95% menos energia que a extração e processamento de alumínio virgem (Tesla, 2023).

A empresa também está a explorar novas tecnologias de produção sustentável, como o uso de biomateriais e compostos naturais para substituir plásticos convencionais, como fibras vegetais reforçadas e compósitos de base biológica, que oferecem uma alternativa mais ecológica aos materiais tradicionais da indústria automóvel (Naor, 2022). Está também a

investigar novas formas de utilizar compostos de carbono reciclado para fabricar painéis interiores e componentes estruturais dos seus veículos, contribuindo para a redução do desperdício industrial e promovendo uma economia circular eficiente.

O compromisso da empresa com a neutralidade carbónica passa não só pela eletrificação dos veículos, mas também pela reformulação da forma como estes são construídos, desde a escolha dos materiais até ao final da sua vida útil (Tesla, 2022).

A Tesla continua a liderar a indústria na adoção de materiais sustentáveis, demonstrando que a inovação pode estar alinhada com a responsabilidade ambiental. A substituição de couro por alternativas “vegans”, a incorporação de plásticos reciclados, a utilização de alumínio reaproveitado e a investigação de novos biomateriais são apenas algumas das estratégias adotadas para tornar os seus veículos mais ecológicos. Com estas iniciativas, a Tesla não só reduz a sua pegada ambiental, mas também influencia outras marcas a seguirem um caminho mais sustentável, contribuindo para uma transformação global da indústria automóvel.



*Figura 21 - Habitáculo do modelo Tesla Model 3 com material sustentável.*

*Fonte: (Blanco, 2019)*

#### **4. Sistemas de condução autónoma e eficiência energética**

A empresa aposta fortemente na utilização de software avançado e inteligência artificial para tornar a condução mais segura, eficiente e sustentável. Através do desenvolvimento do Full Self-Driving (FSD), procura oferecer um sistema de condução

autônoma que, quando totalmente operacional, poderá transformar radicalmente a forma como os veículos são utilizados, reduzindo o número de automóveis em circulação e melhorando a eficiência do transporte urbano (Naor, 2022).

O FSD é um dos projetos mais ambiciosos da Tesla e representa uma evolução significativa do *Autopilot*, um sistema de assistência ao condutor já presente nos veículos da marca este baseia-se numa rede de sensores e câmaras, suportada por algoritmos de inteligência artificial que permitem ao veículo interpretar o ambiente em tempo real. Através de redes neurais profundas, os carros Tesla são capazes de reconhecer sinais de trânsito, peões, ciclistas e outros veículos, ajustando a condução de acordo com as condições da estrada (Tesla, 2023). O grande objetivo da Tesla é permitir que os veículos operem de forma totalmente autônoma, eliminando a necessidade de intervenção humana e aumentando a segurança rodoviária.

Apesar dos avanços, o sistema ainda requer supervisão humana e não foi totalmente aprovado para operação sem condutor em todas as jurisdições (Anurag, 2024). A Tesla argumenta que a adoção massiva desta tecnologia poderá reduzir drasticamente os acidentes rodoviários, uma vez que os erros humanos são responsáveis pela maioria das colisões.

O Tesla Model S, possui um dos coeficientes aerodinâmicos mais baixos da indústria automóvel (0,208 Cd), permitindo uma maior autonomia com a mesma carga de bateria. Outros modelos, como o Model 3 e Model Y, também foram concebidos com este princípio em mente, garantindo que cada watt de energia armazenado na bateria seja utilizado da forma mais eficiente possível (Tesla, 2022).

Outra inovação é a travagem regenerativa, um sistema que recupera energia cinética durante a desaceleração. Nos veículos tradicionais, a energia utilizada para realizar a travagem, dissipa-se em forma de calor. Na Tesla, a energia é capturada e redirecionada para a bateria, aumentando a eficiência energética e prolongando a autonomia. Este sistema não somente melhora o desempenho do carro, como também reduz o desgaste dos travões, resultando em menores custos de manutenção para os proprietários (Tesla, 2023).

Para além da otimização aerodinâmica e da travagem regenerativa, os veículos Tesla beneficiam de atualizações de *software* remotas, um dos aspetos mais inovadores da marca. A Tesla utiliza a tecnologia *over-the-air* (OTA) para enviar melhorias de software diretamente para os veículos, eliminando a necessidade de visitas às oficinas para atualizações.

A combinação dessas tecnologias faz com que os carros Tesla se destaquem como os mais avançados e eficientes do mercado. A aposta na condução autônoma, na eficiência energética e na melhoria constante do software não só beneficia os condutores em termos de conforto e segurança, como também contribui para a diminuição da pegada de carbono

associada ao setor automobilístico.

## **b. BMW**

A BMW foi fundada em 1916 como uma produtora de motores para aeronaves. Durante a Primeira Guerra Mundial, a empresa destacou-se na produção de motores de alta performance, porém, em 1919, com o Tratado de Versalhes, a produção de motores aeronáuticos foi proibida, forçando a BMW a operar com motocicletas, e posteriormente carros. Em 1927, a BMW lança o automóvel 3/15, dando início a sua história na indústria automóvel. (BMW Group, 2022), a evolução histórica da marca está presente na figura 22.

Em seguida, durante as décadas seguintes, a BMW alcançou a liderança na engenharia automobilística, tornando-se famosa pelos seus veículos de alto desempenho e novas tecnologias. Durante as décadas de 60 e 70, a marca moldou a sua identidade com os modelos icónicos da Série 3 e da Série 5, popularizando a BMW como construtora de carros de luxo. Em seguida, enquanto a década de 90 chegava ao final e o século XXI se aproximava, a empresa conquistou o mercado global, comprando a fabricante de carros compactos MINI e a Rolls Royce, consolidando ainda mais a sua posição no topo do setor de luxo (Meegoda et al., 2024).

A BMW marcou pontos significativos com a criação da sub marca BMW i em 2011 em meio ao crescente fenómeno da eletrificação no setor automóvel e ao imperativo da sustentabilidade. De fato, os modelos subsequentes como BMW i3 e o BMW i8 foram tão ousados em inovar devido a práticas “radicais” como o uso de materiais reciclados e processos de produção otimizados para minimizar a pegada de carbono. Hoje, a BMW continua comprometida com a sustentabilidade por toda a cadeia de valor com uma abordagem de economia circular que preconiza *Re:think*, *Re:duce*, *Re:use*, e *Re:cycle* (BMW Group, 2023b).



# EVOLUTION OF THE ULTIMATE DRIVING MACHINE

## A History of BMW & The Kidney-Shaped Grille

1927-1929



**201**  
2.0L I4  
11 hp @ 2000RPM  
Weight 1,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 62 mph

**SETTING THE STANDARD**  
BMW's first mass-produced car, which the brand named with its founding city, was the 201. It was the first BMW to feature a steering wheel, a dashboard, and a gear shift. It was also the first BMW to have a spare tire mounted on the rear of the car.

1933-1934



**203**  
2.0L I4  
14 hp @ 2000RPM  
Weight 1,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 62 mph

The 203 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1936-1941



**206**  
2.0L I4  
14 hp @ 2000RPM  
Weight 1,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 62 mph

The 206 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1936-1940



**207**  
2.0L I4  
14 hp @ 2000RPM  
Weight 1,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 62 mph

The 207 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1938-1941, 1946-1950



**321**  
2.0L I4  
14 hp @ 2000RPM  
Weight 1,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 62 mph

**REWORKING DETAILS**  
The design of the 321 was a result of the company's decision to rework the 201. The 321 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1939-1941



**323**  
2.0L I4  
14 hp @ 2000RPM  
Weight 1,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 62 mph

The 323 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1940-1953



**324**  
2.0L I4  
14 hp @ 2000RPM  
Weight 1,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 62 mph

**IDENTITY CRISIS**  
The 324 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1952-1962



**502**  
3.0L I6  
147 hp @ 5000RPM  
Weight 2,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 102 mph

The 502 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1956-1959



**503**  
3.0L I6  
147 hp @ 5000RPM  
Weight 2,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 102 mph

**A BRIGHT LIFE**  
The 503 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1956-1959



**607**  
3.0L I6  
147 hp @ 5000RPM  
Weight 2,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 102 mph

**LOADING BET**  
The 607 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1962-1965



**2200 CS**  
2.2L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 122 mph

The 2200 CS was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1962-1964



**1800**  
1.8L I4  
105 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 102 mph

**THE NEW 1800**  
The 1800 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1965-1969



**2002T1**  
2.0L I4  
105 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 110 mph

The 2002T1 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

1965-1975



**2002**  
2.0L I4  
105 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 110 mph

The 2002 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E12 1972-1984



**520i**  
2.0L I4  
147 hp @ 5000RPM  
Weight 1,700 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 121 mph

**THE SERIES IS BORN**  
The E12 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E11 1975-1983



**323i**  
2.3L I4  
147 hp @ 5000RPM  
Weight 1,700 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 121 mph

**FOR THE STREET**  
The E11 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E23 1977-1987



**725i**  
2.5L I6  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 2,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 121 mph

The E23 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E24 1983-1988



**M6**  
3.0L I4  
190 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

The M6 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E28 1988-1988



**M5**  
2.8L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**PERFORMANCE**  
The M5 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E28 1981-1984



**623**  
2.3L I4  
147 hp @ 5000RPM  
Weight 1,700 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 121 mph

**NEW SERIES OF BORN**  
The E28 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E23 1986-1988



**750i**  
3.0L I6  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 2,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 121 mph

**BEST OF THE BEST**  
The E23 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E28 1988-1991



**Z1**  
2.0L I4  
132 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**THE ROADSTER RETURNS**  
The Z1 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E24 1989-1995



**M5**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**FORMER SERIES FEATURES**  
The M5 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E36 1992-1999



**Z3**  
2.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**Z SERIES ROADSTER MEETS THE**  
The Z3 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E34 1984-2001



**M5**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**ROADSTER AND BETTER**  
The M5 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E39 1994-2003



**Z3**  
2.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**Z SERIES ROADSTER MEETS THE**  
The Z3 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E38 1998-2002



**Z3**  
2.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**Z SERIES ROADSTER MEETS THE**  
The Z3 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E33 1999-2003



**Z3**  
2.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**Z SERIES ROADSTER MEETS THE**  
The Z3 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E46 2001-2006



**M3**  
3.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 150 mph

**EVOLUTION EVOLVED**  
The E46 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E46 2001-2006



**Z4**  
2.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**CHERRY BLOSSOM BARS HIS BARS**  
The Z4 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E48 2003-2008



**M5**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**ROADSTER AND BETTER**  
The M5 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E60 2006-2010



**M5**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**ROADSTER AND BETTER**  
The M5 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E64 2006-2010



**Z4**  
2.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**CHERRY BLOSSOM BARS HIS BARS**  
The Z4 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E90 2007-2013



**M3**  
3.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 150 mph

**EVOLUTION EVOLVED**  
The E90 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

F12 2007-



**1 Series M**  
1.8L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**ONE TO THE ZERO**  
The 1 Series M was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

E49 2009-



**Z4 35i**  
3.0L I4  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 150 mph

**A STEP UP**  
The Z4 35i was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

F10 2011-



**M5**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**ROADSTER AND BETTER**  
The M5 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

F12 2012-



**M6**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**ROADSTER AND BETTER**  
The M6 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

F12 2013-



**M6**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 1,500 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 149 mph

**ROADSTER AND BETTER**  
The M6 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

F01 2013-



**760i**  
3.0L I4  
192 hp @ 5000RPM  
Weight 2,000 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 121 mph

**EVOLUTION EVOLVED**  
The F01 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

2015-



**i3**  
447 hp, electric motor  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**EVOLUTION EVOLVED**  
The i3 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

2015-



**i8**  
1,000 hp, 2 cylinder turbo  
150 hp @ 5000RPM  
Weight 1,200 kg  
0-100 km/h  
Top Speed 130 mph

**EVOLUTION EVOLVED**  
The i8 was the first BMW to feature a steering wheel and a dashboard.

Figura 22 - Evolução temporal da BMW. Fonte: (Cole, 2015)

Como demonstrado na figura 22, a representação gráfica demonstra a evolução do rim da grelha BMW, uma das partes mais emblemáticas da marca. Como foi demonstrado ao traçar a história da BMW, a evolução também esteve presente na trajetória da marca. A identidade visual da BMW mudou dos seus primeiros automóveis para os veículos mais modernos, embora mantenham sempre essa parte do veículo como imagem de marca. Ademais, a imagem oferece uma interação entre o design e a política da BMW de eficiência e inovação em automóveis, uma vez que o i3 é o lançamento da marca BMW que marca a evolução do processo evolutivo. Desta forma, a figura 22 diz-nos que a BMW mantém esses valores de tradição e loucura numa única paisagem. Assim, a grelha poderia explicar toda a história da BMW.

## **i. Estratégia de sustentabilidade e inovação tecnológica**

A BMW tem reforçado a sua estratégia de sustentabilidade de modo integral, ao combinar a eletrificação com a eficiência energética e a reciclagem de materiais. Não apenas ao nível das linhas de design, mas em todo o processo industrial, a empresa logra diminuir de modo substancial a sua pegada ecológica e promover um esquema de economia circular.

### **1. Modelo *Secondary First***

A adoção do modelo *Secondary First* pela BMW representa uma mudança fundamental na forma como a empresa aborda a produção automóvel e a utilização de materiais. Este conceito segue os princípios da economia circular, que visam reduzir a necessidade de matérias-primas virgens e priorizar o reaproveitamento e reciclagem dos materiais sempre que possível. Em vez de fabricar componentes usando novos recursos naturais, a BMW investe fortemente na integração de materiais reciclados, como aço reciclado, alumínio reaproveitado e plásticos reciclados, o que significa que seus automóveis são cada vez mais sustentáveis e preocupantes.

A implementação deste modelo reflete-se de diversas formas ao longo do processo produtivo. A BMW estabeleceu metas ambiciosas para aumentar a proporção de materiais reciclados utilizados nos seus veículos, com o objetivo de atingir 50% de materiais reciclados ou renováveis até 2030 (BMW Group, 2022). Esta estratégia tem um impacto direto na redução das emissões de CO<sub>2</sub> associadas à extração e transformação de matérias-primas, tornando a produção automóvel significativamente mais sustentável.

A produção de aço reciclado consome 70% menos energia do que a produção de aço

convencional, ao mesmo tempo que reduz significativamente a emissão de gases com efeito de estufa. Da mesma forma, a utilização de alumínio reciclado em substituição do alumínio virgem pode reduzir até 95% do consumo energético no processo produtivo. Este facto é particularmente relevante na indústria automóvel, onde o alumínio desempenha um papel fundamental na construção da carroçaria e de outros componentes estruturais dos veículos (Wastling et al., 2018).

Para a fabricante de automóveis alemã, a aposta em materiais reciclados deve-se não só à perceção do impacto ambiental, mas também a fatores económicos e geopolíticos. Com a procura de matérias-primas como o lítio e o níquel a aumentar e os recursos mundiais a escassear, substituir partes importantes de veículos por plástico reciclado deveu-se à elevada procura de uma alternativa fiável e sustentável para fontes já escassas. Porque, ao reutilizar matérias-primas, reduz a sua dependência da extrativa e elimina a possibilidade de preços variáveis influenciados por fatores como guerra e restrições geográficas e relações instáveis. Então, ao introduzir as inovações, a BMW avançou para um futuro mais verde e competitivo (Meegoda et al., 2024).

Outra característica importante do modelo *Secondary First* é o uso de um design modular e desmontável, dificultando a reutilização e reciclagem dos componentes durante a produção do automóvel. Anteriormente, os automóveis eram feitos de forma que os seus componentes fossem integrados permanentemente. Caso o carro ficasse inutilizável, ele precisava de ser destruído, uma vez que a maioria dos materiais continuariam inutilizáveis. Entretanto, a BMW investiu no desenvolvimento de modulares mais fáceis de serem desmontados, o que permitiria a separação dos diferentes materiais facilitados a reutilização. Esta abordagem pode ser observada nos mais recentes modelos elétricos da BMW, onde os painéis da carroçaria, os interiores e os sistemas eletrónicos são projetados para serem facilmente desmontados e reutilizados. Esta estratégia não só melhora a sustentabilidade dos veículos, como também abre caminho para um novo modelo de negócio baseado no reprocessamento e reutilização de peças, reduzindo a necessidade de produzir novos componentes do zero.

O projeto mais inovador da BMW dentro desta filosofia é o BMW *i Vision Circular*, um protótipo concebido para demonstrar como um veículo pode ser 100% reciclável. Este modelo foi desenvolvido com um design monomaterial, onde os diferentes elementos da carroçaria e do interior são fabricados a partir de materiais homogéneos, tornando a reciclagem muito mais eficiente. Em vez de utilizar misturas complexas de materiais, que dificultam a separação no final da vida útil do veículo, a BMW optou por uma construção simplificada, baseada em materiais de alta qualidade e fáceis de reciclar (BMW Group,

2023b).

## 2. BMW *i Vision* Circular: um protótipo 100% reciclável

O BMW *i Vision* Circular representa um marco significativo na visão da BMW para um futuro automóvel verdadeiramente sustentável. Concebido para ser um veículo 100% reciclável e fabricado exclusivamente a partir de materiais reaproveitados, este protótipo materializa a aposta da empresa na economia circular e na neutralidade carbónica. Este modelo foi apresentado ao público no Salão Automóvel de Munique em 2021, o modelo é um estudo sobre como os automóveis podem ser concebidos para minimizar o impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a produção até ao desmantelamento e reaproveitamento dos seus materiais (BMW Group, 2024).

O conceito do BMW *i Vision* Circular baseia-se em quatro princípios, que refletem a estratégia da marca para um futuro mais sustentável:

- **Usar menos variabilidade de materiais** – Reduzindo a complexidade da construção e minimizando a variedade de materiais utilizados, facilitando a sua separação e reciclagem. O modelo foi desenhado para utilizar o mínimo de componentes possíveis.
- **Prolongar a vida útil** – Incorporando um design modular que permite substituir e atualizar peças ao longo do tempo, sem necessidade de substituir o veículo completo.
- **Reaproveitar componentes** – O veículo que pode ser desmontado facilmente e cujos materiais podem ser reutilizados na produção de novos modelos.
  - **Reciclar no final da vida útil** – Garantindo que 100% dos materiais utilizados no veículo podem ser reaproveitados e reintegrados no processo produtivo, reduzindo drasticamente os resíduos.

A BMW optou por substituir os materiais tradicionais utilizados na construção de veículos por alternativas mais sustentáveis. O aço verde, produzido sem recurso a combustíveis fósseis, é um dos materiais estruturais do *i Vision* Circular. Este aço é fabricado utilizando hidrogénio em vez de carvão na sua fundição, o que reduz drasticamente as emissões de CO<sub>2</sub> associadas ao processo, a par disto também é utilizado alumínio reciclado, que requer até 95% menos energia para ser produzido em comparação com o alumínio virgem (Ries, 2023), como já tinha sido enunciado anteriormente.

O plástico de origem fóssil foi completamente eliminado deste protótipo, sendo substituído por polímeros biodegradáveis e recicláveis. Os componentes interiores são fabricados a partir de plásticos de base biológica, provenientes de fontes renováveis, como

fibras vegetais e resíduos agrícolas.

Outro aspeto inovador do BMW *i Vision* Circular é a sua abordagem ao acabamento e pintura exterior. Em vez de recorrer a tintas tradicionais, que contêm químicos prejudiciais ao ambiente, a BMW optou por uma superfície em tons metálicos, que confere um aspeto premium ao veículo sem necessidade de tratamentos adicionais.

O interior do BMW *i Vision* Circular reflete a mesma filosofia de sustentabilidade e inovação. Todos os tecidos e revestimentos utilizados no habitáculo são fabricados a partir de materiais reciclados, incluindo garrafas PET reaproveitadas e fibras naturais. Contemplando isto, os bancos e painéis das portas foram concebidos com um sistema de montagem modular que permite a remoção em bloco com facilidade. Outro destaque no interior do veículo é a utilização de couro vegan, feito a partir de fibras de origem biológica, como o cânhamo e a celulose.

O painel de instrumentos e os controlos do veículo também foram redesenhados para se alinharem com a visão sustentável da BMW. Em vez de utilizar componentes eletrónicos convencionais, que muitas vezes são difíceis de reciclar, o *i Vision* Circular aposta numa interface minimalista baseada em projeções digitais e holográficas. A ausência de um painel físico tradicional reduz a necessidade de semicondutores e plásticos, tornando o interior mais sustentável e futurista.

Além do design e dos materiais inovadores, o BMW *i Vision* Circular incorpora uma abordagem sustentável ao software e atualizações do veículo. A BMW pretende que os seus veículos do futuro sejam atualizados de forma remota e contínua, prolongando a sua vida útil sem necessidade de substituição prematura, como a Tesla já faz ao momento nos seus veículos.

O BMW *i Vision* Circular não é apenas um estudo conceptual, mas sim uma antevisão do que a BMW pretende implementar nos seus veículos de produção nos próximos anos. A empresa tem vindo a integrar gradualmente os princípios deste conceito em modelos como o BMW *iX*, o BMW *i4* e o BMW *i7*, onde já se verifica uma maior utilização de materiais reciclados, tecnologias de baixo impacto ambiental e design pensado para a sustentabilidade. Com este protótipo, a BMW redefine os padrões da indústria automóvel, demonstrando que um veículo pode ser luxuoso, tecnologicamente avançado e completamente sustentável. Este modelo prova que é possível aliar inovação e responsabilidade ambiental, antecipando um futuro onde os automóveis serão inteiramente recicláveis e produzidos com zero emissões de carbono.



*Figura 23 - Protótipo do BMW i Vision Circular.  
Fonte: (BMW Group, 2024)*

### **3. Reciclagem de baterias e parcerias estratégicas**

O processo de reciclagem de baterias e as parcerias estratégicas fazem também parte da abordagem sustentável da BMW. O primeiro inviabiliza a necessidade crescente de matérias-primas virgens e o último reduz o impacto ambiental associado à produção de veículos elétricos. Como a eletrificação assume a liderança nas tendências da produção automóvel, a fabricante alemã investiu no desenvolvimento do ciclo fechado para baterias de íons de lítio. Nesse propósito, os materiais críticos, após utilizados, são reciclados e reintroduzidos no ciclo produtivo.

A eletrificação da frota BMW trouxe desafios significativos em relação à extração e gestão de materiais críticos, como lítio, cobalto e níquel. A mineração destes elementos tem impactos ambientais severos, incluindo destruição de ecossistemas, consumo excessivo de água e emissões de carbono associadas ao processo de extração e refinação. Para mitigar esses desafios, a BMW tem investido em tecnologias avançadas de reciclagem de baterias e estabelecido parcerias estratégicas com empresas especializadas neste setor.

Um dos projetos mais importantes nesta área é a parceria com a **Redwood Materials**, uma

empresa que se especializa na recuperação e reutilização de metais raros extraídos de baterias usadas permite reciclar até 95% dos metais presentes nas baterias. Segundo a BMW, a colaboração com a *Redwood Materials* permitirá criar um sistema mais sustentável de gestão de baterias, assegurando que os materiais recuperados possam ser diretamente reintegrados na produção de novas células de bateria (BMW Group, 2022).

A abordagem da BMW ao problema da reciclagem de baterias a empresas vai além da extração de materiais valiosos. Eles estabeleceram a rota de reciclagem de utilização final que visa um modelo de utilização em cascata. Refere-se ao facto de as baterias que parecem ter cumprido o seu serviço em veículos não se destinarem à reciclagem imediata. A reciclagem em cascata permite a sua reutilização em sistemas estacionários de armazenamento de energia. Com a reciclagem, a BMW dá uma oportunidade de estender a sua vida útil e minimizar o volume de resíduos gerados. Devido ao crescente desenvolvimento das energias renováveis, os sistemas de armazenamento de energia desempenham um papel significativo. Permite a recolha de energia solar e eólica quando disponível e é usada, armazena-se para mais tarde. Isso permite a estabilidade da rede elétrica e leva a uma diminuição na quantidade de combustíveis fósseis necessários.

Além desta, a BMW também está envolvida em parcerias com instituições de investigação e outras empresas tecnológicas, procurando o desenvolvimento de novos processos de reciclagem com maior eficiência energética.

Outra inovação promissora que a BMW está a explorar é a produção de baterias de estado sólido, que têm uma maior durabilidade e segurança em comparação com as baterias convencionais de íons de lítio. Estas baterias utilizam menos materiais críticos e são mais fáceis de reciclar (BMW Group, 2023b).

O compromisso da empresa alemã com a reciclagem de baterias e a utilização de materiais sustentáveis também se estende à estrutura dos próprios veículos elétricos. Atualmente, a empresa está a integrar materiais recicláveis não apenas nas baterias, mas também na construção da carroçaria e dos interiores dos veículos. Modelos como o BMW iX e o BMW i4 já utilizam uma elevada percentagem de materiais (Nadja Horn & BMW Group, 2022).

A BMW planeia alcançar a neutralidade carbónica até 2050, e a implementação de processos avançados de reciclagem e reutilização de baterias é um passo fundamental nesse sentido. No entanto, para garantir que o setor automóvel eletrificado se mantenha verdadeiramente sustentável, será crucial o desenvolvimento de uma infraestrutura eficiente para a gestão do fim de vida útil das baterias. A participação em parcerias estratégicas e a adoção de tecnologias inovadoras permitem que a empresa não somente minimize o impacto ambiental das baterias elétricas, mas também assegure uma cadeia de abastecimento segura e

resiliente para o futuro da mobilidade elétrica.

## **4. Fábricas Inteligentes e Produção Sustentável**

Deste modo, a modernização das suas fábricas significa uma das últimas etapas necessárias para atingir a visão de sustentabilidade e, ao mesmo tempo, liderança em inovação tecnológica. O modelo que emprega calcular, silenciosamente, num produto da BMW, baseia-se na digitalização, eficiência energética e redução ao desperdício. Portanto, torna-se um dos exemplos-chave de como a indústria automóvel pode mudar para um modelo mais racional e sustentável.

### **a. Digitalização e Automação: O papel da inteligência artificial e *big data***

A BMW tem vindo, cada vez mais, a investir na digitalização da produção. De facto, a inteligência artificial ou o big data veem a ser utilizadas para otimizar a produção industrial. Os sistemas de produção da BMW baseiam-se em algoritmos bastante avançadas que processam milhões de variáveis em tempo real. Deste modo, é possível prever qualquer defeito na corrente do processo produtivo e, até mesmo, efetuar um ajuste automático para equilibrar erros.

Estes avanços possibilitam um nível de precisão sem precedentes na produção automóvel, reduzindo desperdícios de material e melhorando a qualidade dos componentes. O controlo de qualidade automatizado, por exemplo, usa câmaras e sensores conectados a sistemas de IA para inspecionar as peças durante a produção, garantindo que apenas os componentes que cumprem os padrões exigidos seguem para a montagem final. Outro aspeto fundamental é a utilização de gêmeos digitais (*digital twins*), que permitem criar simulações exatas e em tempo real das linhas de produção antes da implementação física

A digitalização também permite que as fábricas da BMW sejam altamente flexíveis e adaptáveis, ajustando-se rapidamente às flutuações na procura ou à introdução de novos modelos. Esta capacidade torna-se particularmente relevante na transição para os veículos elétricos, pois possibilita a conversão de linhas de produção destinadas a veículos de combustão para modelos elétricos de forma eficiente e sustentável, cumprindo todos os pedidos do cliente e não tendo impactos produtivos de maior.

## **b. Transição para Eletricidade Renovável e Sustentabilidade Energética**

Outro grande avanço da BMW foi mudar todas as suas fábricas europeias para eletricidade 100% renovável. Essa decisão ajuda a reduzir a pegada de carbono associada à produção desses veículos em larga escala, o que torna as suas operações muito mais sustentáveis. No início, a empresa investiu em painéis solares e turbinas eólicas em várias das suas fábricas, garantindo que parte da eletricidade consumida é gerada diretamente ao alcance da visão do locador. Além disso, a BMW tem contratos com fornecedores que garantem eletricidade de fontes limpas, como hídrica, eólica e solar.

A fábrica de Leipzig, por exemplo, é um dos exemplos mais bem-sucedidos da adoção de energias renováveis na produção automóvel. Esta unidade é abastecida por quatro turbinas eólicas que produzem energia suficiente para alimentar grande parte das operações industriais, reduzindo drasticamente as emissões de CO<sub>2</sub> (BMW Group, 2022).

Outro avanço relevante foi a adoção de redes inteligentes (*smart grids*), que permitem que a eletricidade gerada por fontes renováveis seja armazenada e utilizada conforme necessário. A BMW tem explorado a integração de baterias reutilizadas de veículos elétricos nas suas instalações, criando sistemas de armazenamento de energia de segunda vida. Estas baterias são utilizadas para equilibrar a procura energética nas fábricas, reduzindo a dependência da rede elétrica em horários de pico e aumentando a eficiência energética da produção. Estes sistemas já não são novidade, tendo em conta que a Tesla já faz essa reutilização à anos a fio.

## **c. Aço verde: reduzindo as emissões da produção automóvel**

Uma das maiores fontes de emissões na indústria automóvel é a produção de aço, que tradicionalmente requer enormes quantidades de energia e libera uma quantidade significativa de CO<sub>2</sub>. Para solucionar isso, a BMW tem investido na utilização de aço verde, produzido sem recurso a combustíveis fósseis. Este aço inovador é fabricado utilizando hidrogénio em vez de carvão nos processos de fusão, reduzindo até 95% das emissões de CO<sub>2</sub> em comparação com o aço convencional, isto é resultado de uma colaboração com a H2 Green Steel e a Salzgitter AG, que são pioneiras na produção de aço livre de carbono (BMW Group, 2022)

Porém, usar aço verde não prejudica a resistência e durabilidade dos veículos da BMW, o que significa que a empresa pode continuar a fabricar veículos seguros e de alta

qualidade sem as consequências negativas do aço tradicional. Além do aço verde, a BMW usa alumínio reciclado que como já foi enunciado neste trabalho diminui em 95% as emissões de dióxido de carbono durante a sua produção

#### **d. Impressão 3D: produção de componentes mais sustentável**

A impressão 3D tornou-se um acréscimo essencial na modernização das fábricas de BMW, graças à qual as peças poderiam ser fabricadas de forma mais precisa e desperdiçando muito menos material. Essa forma de fabricação faz com que as partes sejam mais leves, mais possam ser criadas variantes mais fortes e peças, especialmente com volumes muito complexos que seriam extremamente difíceis/caros de fabricar usando métodos tradicionais. Isso foi mencionado anteriormente que BMW imprime partes somente quanto é necessário, e isso impede executar as produções de regularidades e desperdícios desnecessários. Além disso, BMW também tem estudado a possibilidade a usar matérias-primas recicladas ou ecologicamente corretas na impressão 3D, assegurando alta o nível ecológico.

Outro avanço importante proporcionado pela impressão 3D é a possibilidade de personalização em massa. Com esta tecnologia, a BMW pode adaptar componentes a necessidades específicas dos clientes sem comprometer a eficiência da produção. Este nível de flexibilidade melhora a experiência do consumidor e permite a criação de veículos mais ajustados às preferências dos condutores. Esta tecnologia é também muito utilizada na fase de prototipagem.

#### **e. O Futuro das fábricas da BMW: produção livre de emissões**

A BMW pretende tornar todas as suas fábricas livres de emissões de carbono até 2050. Para isso, a empresa aposta numa abordagem integrada com base em energia renovável, reciclagem de materiais, eficiência produtiva e sofisticação digital. Essa alternativa vai ajudar a erradicar as emissões durante o processo de produção de automóveis.

A marca também está concentrada na redução do consumo de água e na eliminação de resíduos. Como resultado, as suas fábricas vão implementar um sistema de reciclagem que permitirá fechar o ciclo da água e, assim, reduzir o impacto dos resíduos líquidos nos processos de produção.

O transporte de produtos entre plantas industriais e de distribuição será feito por veículos elétricos e a hidrogénio, que funciona com base em soluções sustentáveis. Para proteger o seu mercado, a BMW já planeou estratégias básicas para, desse modo, assumir a

liderança na transformação da produção de um carro numa indústria viável e produtiva.

## **12. Comparação entre a BMW e a Tesla na sustentabilidade e circularidade**

A indústria automóvel enfrenta atualmente uma transformação significativa, considerando a redução das emissões de carbono e a adoção de práticas mais sustentáveis. BMW e Tesla emergiram como líderes num futuro sustentável na mobilidade e aplicaram estratégias relacionadas à eletrificação, reciclagem de materiais e digitalização na sua produção. Com isso dito, cada empresa abordou o desafio de neutralidade carbónica e economia circular de maneiras diferentes. Este capítulo descreve as estratégias da BMW e da Tesla, analisa e compara os avanços, desafios e impacto de ambas as empresas na indústria automóvel focada no futuro.

### **a. Estratégia de eletrificação e mobilidade sustentável**

A eletrificação é um dos pilares fundamentais da transição para um setor automóvel mais sustentável. Tanto a BMW como a Tesla têm investido fortemente no desenvolvimento de veículos elétricos, mas a forma como abordam essa mudança difere significativamente.

A Tesla tem sido uma das pioneiras da mobilidade elétrica desde a sua fundação, em 2003. A empresa optou por uma abordagem disruptiva, eliminando completamente os motores de combustão interna da sua linha de produtos e focando-se exclusivamente em veículos 100% elétricos. Modelos como o Model 3, Model S e Model X tornaram-se referências no setor (Tesla, 2023).

Por outro lado, a BMW adotou uma estratégia mais gradual, mantendo uma linha de veículos híbridos e elétricos em paralelo com os seus motores de combustão interna. A empresa lançou a submarca BMW i. No entanto, ao contrário da Tesla, a BMW continua a investir no desenvolvimento de motores híbridos plug-in e combustíveis alternativos, como o hidrogénio, oferecendo uma abordagem mais diversificada à transição energética (BMW Group, 2022).

	2020	2021	2022	2023	2024
Model 3/Y production	454,932	906,032	1,298,434	1,775,159	1,679,338
Other models production	54,805	24,390	71,177	70,826	94,105
<b>Total production</b>	<b>509,737</b>	<b>930,422</b>	<b>1,369,611</b>	<b>1,845,985</b>	<b>1,773,443</b>

Model 3/Y deliveries	442,562	911,242	1,247,146	1,739,707	1,704,093
Other models deliveries	57,085	24,980	66,705	68,874	85,133
<b>Total deliveries</b>	<b>499,647</b>	<b>936,222</b>	<b>1,313,851</b>	<b>1,808,581</b>	<b>1,789,226</b>
of which subject to operating lease accounting	34,470	60,912	47,582	72,226	60,003

Figura 24 - Dados de evolução de produção e vendas Tesla Inc.  
Fonte: (Tesla, 2023)

Deliveries of BMW vehicles by model series <sup>2</sup>			
in units	2023	2022	Change in %
BMW 1 Series/BMW 2 Series	225,827	205,971	9.6
BMW 3 Series/BMW 4 Series	558,462	478,932	16.6
BMW 5 Series/BMW 6 Series	273,877	315,590	- 13.2
BMW 7 Series/BMW 8 Series	59,763	48,708	22.7
BMW Z4	10,957	12,029	- 8.9
BMW X1/X2	318,051	242,189	31.3
BMW X3/X4	405,562	400,898	1.2
BMW X5/X6	280,684	277,057	1.3
BMW X7	61,117	57,905	5.5
BMW iX	50,989	39,130	30.3
BMW XM	6,749	-	-
BMW i3/i8	755	22,280	- 96.6
<b>BMW total</b>	<b>2,252,793</b>	<b>2,100,689</b>	<b>7.2</b>
thereof BEV	330,197	172,008	92.0
thereof PHEV	173,878	200,945	- 13.5

Figura 25 - Dados de vendas BMW.  
Fonte: (BMW Group, 2023a)

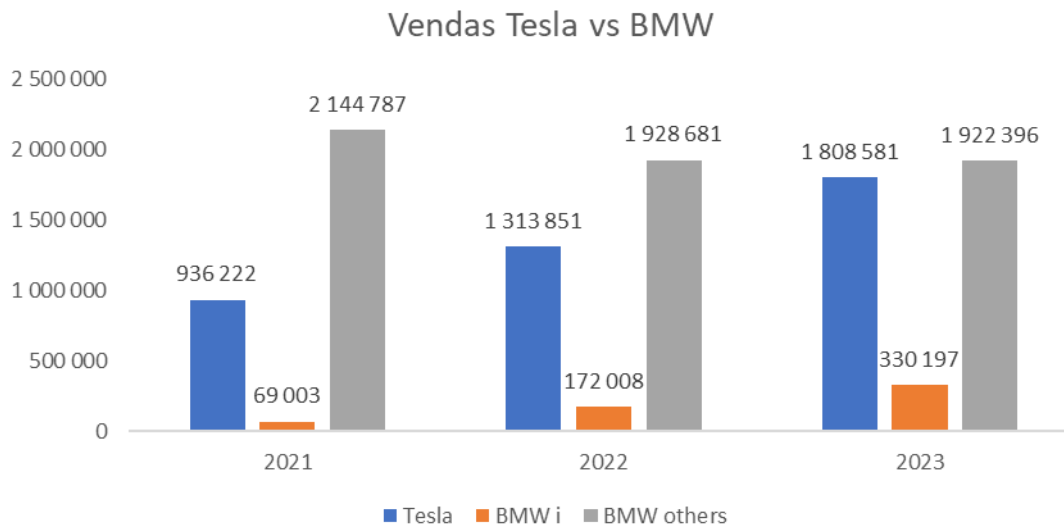


Figura 26 - Análise de vendas da Tesla Inc. e BMW.  
Adaptado de: (BMW Group, 2023a; Tesla, 2023)

As tabelas da figura 24 e 25 e o gráfico da figura 26 fornecem uma visão detalhada sobre a evolução da produção e vendas da Tesla e da BMW, permitindo uma análise comparativa do desempenho de ambas as empresas no setor automóvel nos últimos anos. Estes

dados ajudam a compreender o impacto das estratégias de eletrificação e sustentabilidade adotadas pelas duas marcas e como essas mudanças estão a influenciar a sua presença no mercado global.

### **i. Análise da evolução da produção e vendas da Tesla Inc (2020-2024)**

A Figura 24 apresenta a evolução da produção e das entregas de veículos da Tesla Inc. entre 2020 e 2024, com especial destaque para os modelos Model 3 e Model Y, que representam a maioria das vendas da marca. A Tesla tem demonstrado um crescimento acelerado no setor automóvel, impulsionado pela crescente procura por veículos elétricos e pela expansão das suas *Gigafactories*, que permitem uma produção em larga escala e maior eficiência logística.

Observando os dados apresentados, nota-se que a produção total da Tesla cresceu de 509.737 unidades em 2020 para mais de 1,8 milhões de veículos em 2023. Esse aumento foi sustentado pela expansão da capacidade produtiva, com novas fábricas e uma maior integração dos processos industriais. Isto só foi possível porque os pedidos de veículos acompanharam esse crescimento, atingindo 1.739.707 unidades em 2023, um aumento expressivo em relação aos anos anteriores.

No entanto, os dados de 2024 indicam uma ligeira diminuição na produção e nas entregas em comparação com 2023. Essa redução pode ser explicada por fatores como alterações na procura global, dificuldades na cadeia de abastecimento e ajustamentos na linha de produção, à medida que a Tesla introduz novos modelos e otimiza as suas fábricas para processos ainda mais eficientes. A Tesla tem como estratégia a produção verticalizada. Em outras palavras, a organização investe em desenvolver internamente a maioria dos componentes e tecnologia que utilizará nos seus veículos ao invés de utilizar fornecedores instalados no mercado. Portanto, o modelo de produção, permite à marca reduzir custos de produção, promovendo uma melhor margem de lucro e impulsionando o ritmo de inovação em tecnologias. Assim, a Tesla destaca-se entre as principais concorrentes do mercado automóvel atual.

### **ii. Análise das vendas da BMW (2022-2023)**

A Figura 25 apresenta os dados de vendas da BMW por série de modelos, comparando os anos de 2022 e 2023. Uma das tendências mais marcantes observadas na tabela é o crescimento das vendas de veículos elétricos (BEV), que registaram um aumento de 92,2%

em relação a 2022, atingindo um total de 330.596 unidades vendidas em 2023.

Os modelos BMW iX, BMW i4 e BMW i7 destacam-se como os principais responsáveis por esse crescimento, demonstrando o impacto da estratégia de eletrificação da BMW. Por outro lado, os híbridos plug-in (PHEV) apresentaram uma redução nas vendas, refletindo uma possível mudança de preferência dos consumidores para veículos totalmente elétricos. Além disso, os modelos tradicionais da BMW, como a Série 3 e a Série 5, continuam a ser os mais vendidos, reforçando a posição da empresa no segmento *premium*. No entanto, a descontinuação do BMW i3 resultou numa queda acentuada de 96,6% nas suas vendas, demonstrando a transição da marca para uma nova geração de veículos elétricos com maior autonomia e tecnologia mais avançada.

Esta análise diz-nos que a BMW está a acelerar a sua transformação para a mobilidade elétrica e híbrida, apostando na diversificação da sua linha de produtos para competir diretamente com marcas como a Tesla. No entanto, a transição ainda está em curso, e a empresa continua a produzir veículos de combustão e híbridos, oferecendo opções variadas para diferentes mercados.

### **iii. Comparação entre a Tesla e a BMW no setor elétrico**

O gráfico "Vendas Tesla vs BMW", da figura 26, permite comparar a evolução das vendas das duas marcas entre 2021 e 2023, destacando o crescimento da Tesla no setor elétrico e a progressão da BMW na transição para a eletrificação.

A Tesla apresentou um crescimento significativo no volume de vendas, passando de 936.222 unidades em 2021 para 1.808.581 em 2023. Esse aumento reflete a forte procura pelos seus veículos elétricos e a expansão da sua capacidade produtiva através das *Gigafactories*. A empresa mantém uma estratégia focada exclusivamente na eletrificação, consolidando a sua liderança no setor. Já a BMW, embora tenha mantido um volume de vendas superior à Tesla no total de unidades comercializadas, ainda depende amplamente dos seus modelos a combustão e híbridos. A marca vendeu 2.144.787 veículos em 2021, com uma ligeira redução para 1.922.396 em 2023. No entanto, a BMW i, dedicada a veículos elétricos, registou um crescimento expressivo, passando de 69.003 unidades em 2021 para 330.197 em 2023, um aumento de 92,2% face ao ano anterior.

A análise mostra que a Tesla continua a liderar no volume absoluto de veículos elétricos vendidos, enquanto a BMW está a acelerar a sua transição para a eletrificação, mas de forma mais gradual. A BMW ainda equilibra a sua oferta entre veículos elétricos, híbridos

e a combustão, enquanto a Tesla se mantém exclusivamente no segmento elétrico. O futuro do setor dependerá da velocidade com que as marcas se adaptam às novas exigências ambientais e às preferências do mercado.

## **b. Economia circular e reciclagem de materiais**

A circularidade da economia é crucial para a sustentabilidade da indústria automóvel. Isso deve-se ao fato da circularidade diminuir a necessidade de extrair novas matérias-primas e prolongar o ciclo de vida dos materiais. Assim, BMW e Tesla também escolheram estratégias que promovessem a circularidade nos seus processos de produção. No entanto, as empresas optaram por métodos diferentes.

### **i. Abordagem BMW com o modelo *Secondary First***

A BMW tem usado a economia circular como parte do processo de produção automóvel. Através do conceito *Secondary First*, a marca pretende que, até 2030, 50% dos materiais utilizados nos seus veículos sejam reciclados. Dessa forma, não há necessidade de usar matérias-primas naturais, ao mesmo tempo, em que a pegada de emissão carbónica da produção diminui.

O BMW *i Vision* Circular é um exemplo claro do acima referido, uma vez que este protótipo é totalmente reciclável, construído com aço verde, alumínio reciclado e plásticos sustentáveis. A empresa também investe na reciclagem de baterias, nomeadamente no lítio, níquel e cobalto, sendo depois recuperados e utilizados para a produção de novas baterias elétricas. Para além disso, a BMW também aposta num design modular e desmontável, o que garante que as peças podem ser reaproveitadas e que os materiais podem ser reintegrados no ciclo. Tal como as outras medidas, também estas reforçam a visão da BMW enquanto campeão da neutralidade carbónica.

### **ii. Abordagem Tesla com a verticalização da reciclagem**

A Tesla consolidou uma abordagem integrada de reciclagem e reutilização de materiais e incorporou-as diretamente na suas *Gigafactories*. Esses centros de produção foram construídos em torno de eficiência ao gerir resíduos, garantindo que materiais produtivos sejam reaproveitados sempre que possível e, com isso, minimizar a necessidade de extrair mais matérias-primas.

Além da reciclagem, a Tesla aposta também na reutilização de módulos de baterias em

soluções de armazenamento estacionário de energia, como o *Powerwall* e *Megapack*. Esta estratégia prolonga a vida útil das baterias antes da reciclagem final, contribuindo para a redução do impacto ambiental e para a otimização do armazenamento de energia renovável.

### iii. Comparação entre BMW e Tesla Inc

Apesar de ambas as empresas estarem comprometidas com a economia circular, as suas abordagens apresentam diferenças significativas:

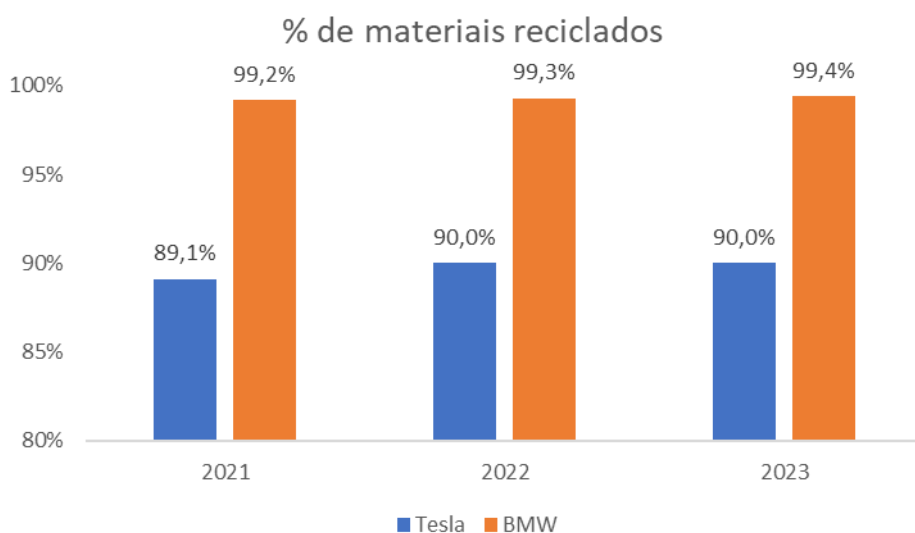


Figura 27 - Percentagem de material reciclado na produção de automóveis Tesla e BMW.  
Adaptado de: (BMW Group, 2023a; Tesla, 2023)

O gráfico da figura 27 mostra-nos uma diferença acentuada entre a percentagem de materiais reciclados utilizados na produção de veículos das marcas BMW e Tesla.

Este retrata a percentagem de materiais reciclados utilizados pela Tesla e BMW na produção de automóveis durante 2021–2023. BMW destaca-se com uma classificação menos variável, que oscila entre 99,2% e 99,4%; em comparação, a Tesla apresenta maior variabilidade em níveis mais baixos: 89,1%, que aumentam em 90% durante os dois anos restantes do período. Analisando, os dados mostram que a BMW se concentra mais em reciclar materiais ao produzir automóveis, esta a análise diz-nos que isso está relacionado com as estratégias emergentes de economia circular ou políticas enérgicas de reciclagem e reutilização. Ao mesmo tempo, a Tesla não negligencia as práticas sustentáveis, embora o seu gráfico seja num nível mais baixo, o que pode indicar abordagens alternativas na rede de fornecimento ou na escolha de materiais. Em suma, este gráfico retrata a responsabilidade ambiental do processo de fabricação de ambos os competidores, com a BMW obtendo um nível mais alto de reciclagem de materiais e Tesla mantendo a sua posição com perspectiva de crescimento.

### **c. Reciclagem e reutilização de baterias**

A reciclagem e reutilização de baterias é fundamental para garantir a sustentabilidade dos veículos elétricos, uma vez que a extração de lítio, cobalto e níquel acarreta muitos impactos ambientais negativos, como a degradação do solo, o consumo excessivo de água e a emissão de carbono. Mas devido a uma procura crescente de veículos elétricos, é fundamental eleger as soluções para reduzir a dependência da extração mineira e maximizar da reutilização dos materiais, atualmente presentes nas baterias usadas. Ambas as empresas BMW e Tesla têm soluções específicas do que fazer no fim da vida das baterias; ainda assim, a abordagem, neste caso, está longe de ser idêntica nestes casos.

#### **i. Estratégia da BMW: parcerias e economia circular**

Como já referido nesta tese, a BMW tem vindo a construir parcerias estratégicas para melhorar a reciclagem de baterias e assegurar a recuperação e reintegração dos materiais críticos. Em colaboração com várias companhias, incluindo, por exemplo, a empresa *Redwood Materials*, especializada na reciclagem de baterias, com a qual a BMW recupera 95% dos metais preciosos retidos nos acumuladores de iões de lítio. A biografia da empresa menciona a exploração de soluções de armazenamento de energia estacionária; isto é, as baterias usadas dos seus veículos que continuam a armazenar energia que alimenta infraestruturas industriais e correntes de rede devido aos baixos níveis de eficiência do veículo.

De facto, embora as baterias usadas possam reter menos energia do que conduzir motores elétricos, ainda têm capacidade para armazenar energia gerada por fontes renováveis, como painéis solares e turbinas eólicas, prolongando o período antes de serem recicladas. A BMW garante a reciclagem final e investe em baterias modulares que podem ser desmontadas e substituídas por células antes de serem descartadas.

#### **ii. Estratégia da Tesla: reciclagem interna e reutilização de baterias**

A Tesla aborda o problema de forma inovadora, reciclando internamente e reutilizando diretamente as suas baterias. Como a empresa relatou, “nós não enviamos uma única bateria para aterros e reciclamos todas as baterias devolvidas para recuperar mais de 95% dos nossos quatro minerais chave... níquel, cobalto, cobre e lítio”. Além disso, a empresa reutiliza módulos de baterias em bens finais vendidos por ela, como o *Powerwall* e o *Megapack*.

Ambos os produtos desempenham um papel crítico no armazenamento de energia renovável e no controlo de estabilização da rede. Como resultado, a vida útil das baterias recicladas é significativamente estendida, diminuindo assim a necessidade de novos sistemas de armazenamento. Além disso, a verticalização da produção permite a reciclagem e a reutilização da bateria para ocorrerem numa empresa de produção de bateria, ou seja, *Gigafactories*, reduzindo o custo de logística.

### iii. Comparação entre a BMW e a Tesla Inc

Apesar destas empresas estarem focadas na reciclagem e reutilização de baterias, as suas abordagens apresentam algumas diferenças significativas:

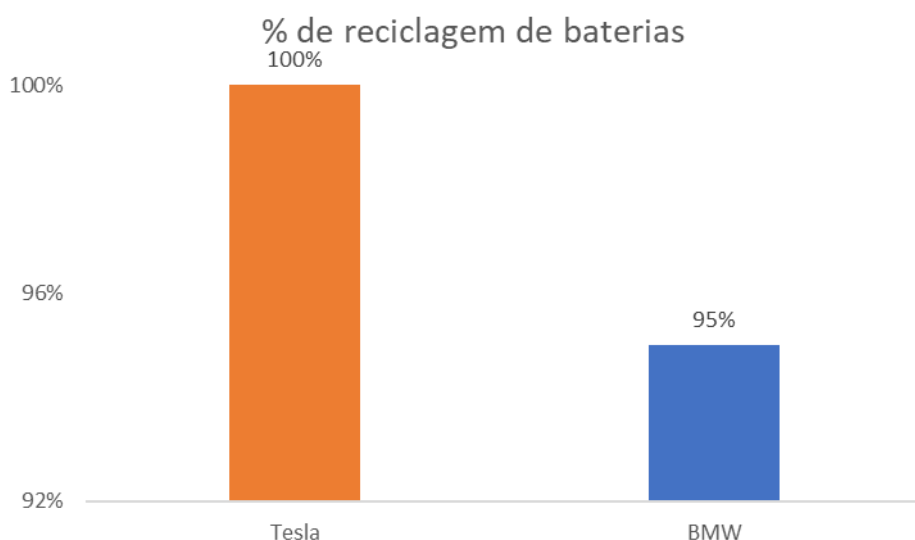


Figura 28 - Comparação Tesla e BMW - Reciclagem de baterias.  
Adaptado de: (BMW Group, 2023a; Tesla, 2023)

A maior percentagem neste gráfico da figura 28 é apresentada pela Tesla, que relata que recicla completamente 100% da bateria que entrega aos clientes. Em comparação, a BMW apresenta um percentual de 5% abaixo. A diferença entre as empresas é a implementação de processos e tecnologia para recuperar materiais que podem ser reutilizados para produzir novas baterias. Tesla adota uma abordagem de circuito fechado.

Isso significa que a empresa garante que todos os materiais na bateria antiga são usados na produção de novas baterias. Em contraste, embora a percentagem da BMW seja alta, pode haver desafios na recuperação total dos materiais. Portanto, as duas empresas têm uma forte preocupação com a sustentabilidade, mas Tesla é mais relevante devido à reciclagem total teórica. Esse fator é competitivo em relação aos concorrentes do mercado da mobilidade, como discutido anteriormente.

## **d. Produção sustentável e fábricas inteligentes**

A sustentabilidade da produção de veículos é um aspecto fundamental da redução do dano ecológico causado pela indústria e da realização das metas de carbono zero no mundo. A BMW e a Tesla desenvolveram a sua própria ideia de fábricas sustentáveis. A BMW é mais experiente, optando pela digitalização e utilização de matérias-primas, enquanto a Tesla escolhe construir *Gigafactories* altamente eficientes que desempenham um papel vital no ciclo de vida dos automóveis.

### **i. Abordagem da BMW: digitalização e energia renovável**

A BMW tem atualizado as suas instalações e fábricas através de fábricas inteligentes, onde inteligência artificial e big data são utilizados para otimizar a produção e minimizar o desperdício que dela resulta. Com estas tecnologias, as fábricas conseguem antever falhas e imprevistos, alterar o curso dos processos produtivos e aumentar a eficiência operacional. Paralelamente, a BMW tem envidado esforços para garantir a sua transição para a energia renovável. Isso porque todas as fábricas da marca na Europa já estão energizadas a 100% por eletricidade renovável, atuando para reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> associadas à produção de veículos.

Ademais, a BMW tem adotado o chamado “aço verde”, um material produzido sem combustíveis fósseis que reforça a capacidade de a produção industrial ser ambientalmente amiga e sustentável, e aumentado a taxa de reciclagem de alumínio, recuperando metal usado para poupar a exploração de nova matéria-prima. Outra estratégia utilizada para aumentar a eficiência e reduzir o impacto ambiental foi a digitalização da produção. Através de “digital twins”, a BMW simula a produção à priori, procurando aprimorar os processos e evitar a produção de desperdício, efetuando mudanças na produção sem que elas sejam necessárias.

### **ii. Abordagem da Tesla: eficiência e verticalização da produção**

As *Gigafactories* da Tesla posicionaram-se com uma visão de futuro, tornando possível ter num único local a produção de veículos, a fabricação de células de baterias e a reciclagem de metais. Isso possibilita automações elevadas e eficiência energética, o que reduz custos e torna o processo produtivo mais sustentável. Outra grande aposta da Tesla é a energia

renovável, todas as *Gigafactories* recorrem à energia solar e eólica de forma a tornar a pegada de carbono mínima.

A título de exemplo, a *Gigafactory* Nevada foi construída para ser uma das primeiras unidades de produção alimentadas apenas com energia limpa, a qual servirá de modelo para as restantes unidades na indústria automóvel. No plano de estratégia a verticalização da produção é outro ponto-chave, com grande parte dos componentes dos automóveis a serem produzidos internamente, inclusive baterias, a Tesla consegue enormes lucros com materiais reciclados. Desde a automação ao controlo de custos em toda a cadeia de produção, e a minimização de lixo gerado por transporte e manuseio de materiais. A impressão 3D é outra inovação da Tesla, sendo utilizado para produzir alguns componentes, pois têm menor peso, mais resistência, melhorando a eficiência dos automóveis e reduzindo a quantidade de materiais necessária.

### iii. Comparação entre a BMW e a Tesla Inc

As abordagens da BMW e da Tesla na produção sustentável diferem em vários aspetos fundamentais:

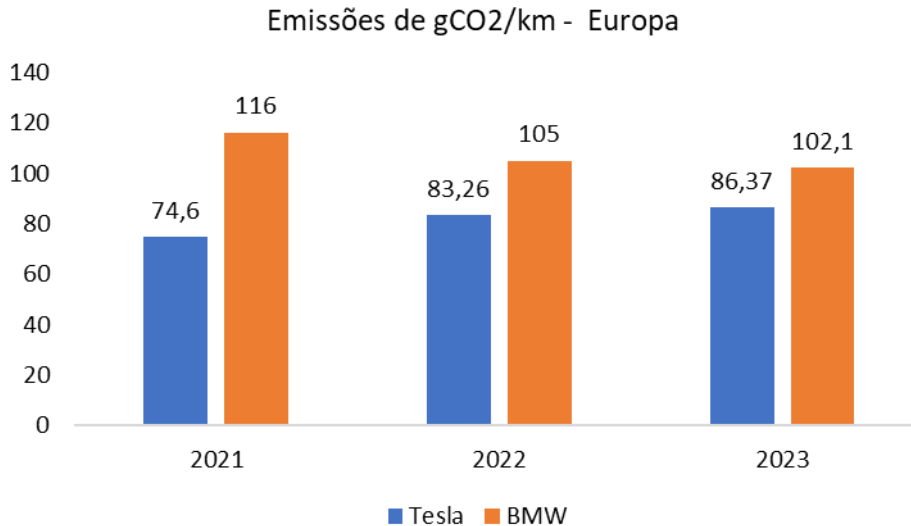


Figura 29 - Comparação Tesla e BMW - Produção sustentável e fábricas inteligentes.  
Adaptado de: (BMW Group, 2023a; Tesla, 2023)

O gráfico da figura 29 compara as emissões de CO<sub>2</sub> por quilómetro da Tesla e BMW na Europa de 2021 a 2023. A Tesla apresenta sempre emissões menores, com 74,6 gCO<sub>2</sub>/km em 2021 e crescendo para 86,37 gCO<sub>2</sub>/km em 2023. BMW, por sua vez, apesar da queda em todos os anos, lança veículos com emissões mais altas, de 116 gCO<sub>2</sub>/km em 2021 a 102,1 gCO<sub>2</sub>/km em 2023. A partir dos dados, pode-se inferir que a Tesla possui mais vantagens em

termos de sustentabilidade. Isso não é surpresa, considerando que a empresa possui uma frota totalmente eletrificada e otimiza os seus processos produtivos.

A BMW, por outro lado, mantém um mínimo de 20g em comparação com a competidora. A diferença pode ser resultado da sua frota conter motores movidos a combustíveis fósseis. Esse retorno de desempenho segue a tendência, mostrando que ambas empresas estão a esforçar-se para reduzir o fator ambiental. No entanto, se o utilizador tem como fator decisivo principal, a escolha certa seria uma compra na Tesla: os dados mostram ser mais forte do que o concorrente.

### **13. Desafios e oportunidades para ambas as marcas**

A transição para um modelo de economia circular é um dos maiores desafios da indústria automóvel. O setor enfrenta uma crescente necessidade de diminuir o impacto ambiental da produção de automóveis, incentivar a reciclagem de materiais e a reutilização de componentes. Tanto a BMW quanto a Tesla têm adotado metodologias inovadoras para minimizar os resíduos e aumentar o aproveitamento de materiais, mas a adoção total desses princípios ainda enfrentam muitos obstáculos.

A BMW foca-se em parcerias estratégicas e otimização de materiais recicláveis, enquanto a Tesla aposta na integração da reciclagem na cadeia produtiva, especialmente nas *Gigafactories*. Apesar dos avanços, as duas empresas deparam-se com muitos problemas, como limitações tecnológicas, problemas financeiros e regulamentais. A economia circular requer investimentos, inovação tecnológica e adaptação dos processos produtivos para recuperar e reutilizar materiais. A BMW tem-se concentrado na reciclagem de baterias e no reaproveitamento de metais raros, como lítio, níquel e cobalto, elementos fundamentais para a produção de novos acumuladores. A extração dos materiais das baterias usadas e a necessidade de infraestruturas avançadas são desafios que ainda estão por ultrapassar. Enquanto isso, a Tesla enfrenta desafios relacionados com a gestão sustentável de sua cadeia de fornecimento de baterias. A marca tem investido na reciclagem interna dos seus acumuladores e estabelecido parcerias, como com a *Redwood Materials*, para recuperar materiais críticos. Mas, a produção de baterias de íões de lítio ainda precisa de muitos recursos naturais, o que significa que a Tesla ainda precisa de novas fontes de materiais para fazer os seus carros elétricos visto que todos os seus veículos são elétricos.

Estas empresas têm um desafio comum: usar bem as baterias antes de reciclar. Tanto a BMW quanto a Tesla têm usado módulos de baterias em sistemas de armazenamento de energia, como o *Powerwall* e *Megapack*, na Tesla, e em infraestruturas industriais, na BMW.

Essa estratégia prolonga a vida útil das baterias, contribuindo para um uso mais sustentável dos recursos.

A economia circular também tem grandes oportunidades para ambas as marcas. A BMW pode usar materiais reciclados e baterias para se consolidar como referência na mobilidade sustentável. A adoção de designs modulares e desmontáveis, que simplificam a substituição de componentes sem a necessidade de descartar toda a estrutura do veículo, é um caminho promissor para aprimorar a reutilização de materiais.

A Tesla pode usar mais baterias usadas na sua produção, melhorando a eficiência energética das suas *Gigafactories* e melhorar o processo de produção para evitar desperdícios. Adicionalmente, a criação de baterias de estado sólido pode permitir uma diminuição da dependência de metais raros e aumentar a eficiência e a durabilidade, tornando o setor mais ecologicamente correto. O sucesso da economia circular na indústria automóvel dependerá dos avanços tecnológicos, da regulamentação ambiental mais rigorosa e das mudanças nas preferências dos consumidores. Baterias mais eficientes e fábricas neutras em carbono serão importantes para uma produção menos poluente e economicamente viável. Nos próximos anos, espera-se que tanto a BMW como a Tesla acelerem as suas iniciativas, investindo cada vez mais na redução de resíduos industriais, na melhoria da reciclagem de baterias e na implementação de materiais sustentáveis nos seus veículos. Com a tecnologia a evoluir, é possível melhorar a produção e tornar a mobilidade elétrica mais sustentável.

Com tudo o que foi dito antes, enquanto a BMW tem a sua estratégia mais focada em parcerias externas e economia circular, a Tesla destaca-se pela sua produção verticalizada e integração da reciclagem nas suas instalações. Ambas as abordagens apresentam desafios e oportunidades significativas. **O futuro da mobilidade sustentável depende da capacidade das empresas de inovar, otimizar a reutilização de materiais e tornar a produção de automóveis mais eficiente e ecologicamente correta.**

## Conclusão

A presente dissertação, intitulada "A Circularidade e a Indústria Automóvel", analisou a implementação da economia circular no setor automóvel, com foco na comparação entre as estratégias adotadas pela BMW e pela Tesla. O estudo permitiu compreender de que forma estas empresas estão a integrar práticas sustentáveis nos seus processos produtivos, otimizando o uso de recursos, reduzindo a pegada ecológica e promovendo a reciclagem de materiais.

Ao longo da investigação, foi possível verificar que a transição para um modelo de economia circular no setor automóvel é um desafio complexo, que exige inovação tecnológica, investimentos significativos e adaptação das cadeias de produção. A crescente regulamentação ambiental, aliada às mudanças nas preferências dos consumidores, tem pressionado as empresas a desenvolver soluções mais sustentáveis, acelerando a eletrificação dos veículos e a implementação de práticas circulares.

A revisão bibliográfica realizada abordou os conceitos fundamentais relacionados com a economia circular, design sustentável e impacto ambiental da indústria automóvel. A análise permitiu compreender que a economia circular não se limita apenas à reciclagem, mas abrange também a reutilização de componentes, a redução de desperdícios e o desenvolvimento de materiais inovadores que prolongam o ciclo de vida dos produtos. O setor automóvel tem sido historicamente um dos maiores consumidores de matérias-primas e um dos principais responsáveis pela emissão de gases com efeito de estufa, tornando essencial a adoção de um novo modelo produtivo que minimize esse impacto.

A análise da indústria automóvel mundial e europeia revelou que a transição para um setor mais sustentável tem sido impulsionada por políticas ambientais rigorosas e incentivos fiscais para a adoção da economia circular. No entanto, o setor ainda enfrenta diversos desafios, como custos elevados de reciclagem, limitações tecnológicas na reutilização de baterias e a falta de infraestruturas adequadas para a recuperação de materiais em larga escala. Dentro deste contexto, o estudo foca-se na comparação entre a BMW e a Tesla, duas das empresas que mais têm investido na economia circular no setor automóvel. A análise detalhada das suas estratégias revelou abordagens distintas para a sustentabilidade, cada uma com os seus pontos fortes e desafios.

### **Comparação entre a BMW e a Tesla na Sustentabilidade e Circularidade**

A Tesla, desde a sua fundação, assumiu uma estratégia 100% elétrica e verticalizada, integrando a produção, reciclagem e reutilização de materiais dentro das suas próprias

instalações. O modelo das *Gigafactories* permite que a empresa reduza os custos logísticos e aumente a eficiência produtiva, utilizando energia renovável e processos automatizados para otimizar a fabricação dos seus veículos. A Tesla também se destaca na reciclagem e reutilização de baterias, garantindo que todos os seus acumuladores são reciclados e que os módulos de baterias são reaproveitados em soluções de armazenamento de energia, como os *Powerwall* e *Megapack*.

Por outro lado, a BMW, com mais de um século de história na indústria automóvel, tem seguido uma abordagem mais gradual e diversificada na transição para a economia circular. Através do conceito "*Secondary First*", a aposta no uso de materiais reciclados e renováveis, estabelecendo parcerias estratégicas para garantir que, até 2030, 50% dos materiais utilizados nos seus veículos sejam reciclados. A empresa também investe no desenvolvimento de designs modulares e de fácil desmontagem, que facilita a recuperação de componentes e a sua reutilização em novos veículos.

Além disso, a BMW tem vindo a modernizar as suas fábricas inteligentes, utilizando inteligência artificial e *big data* para otimizar processos e reduzir desperdícios. Atualmente, todas as suas fábricas europeias utilizam eletricidade 100% renovável, e a empresa aposta na utilização de aço verde e alumínio reciclado para diminuir a pegada de carbono da sua produção.

Em termos de reciclagem de baterias, a BMW segue um modelo diferente da Tesla, optando por parcerias estratégicas com empresas especializadas, como a *Redwood Materials*, para garantir a recuperação de 95% dos metais preciosos utilizados nos acumuladores. A marca também tem explorado a reutilização de baterias em sistemas estacionários de armazenamento de energia, prolongando a sua vida útil antes da reciclagem final.

Apesar das diferenças nas estratégias, ambas as empresas estão comprometidas com a transição para um modelo mais sustentável e demonstram que a economia circular pode ser aplicada com sucesso na indústria automóvel.

### **Desafios e Oportunidades para o Futuro**

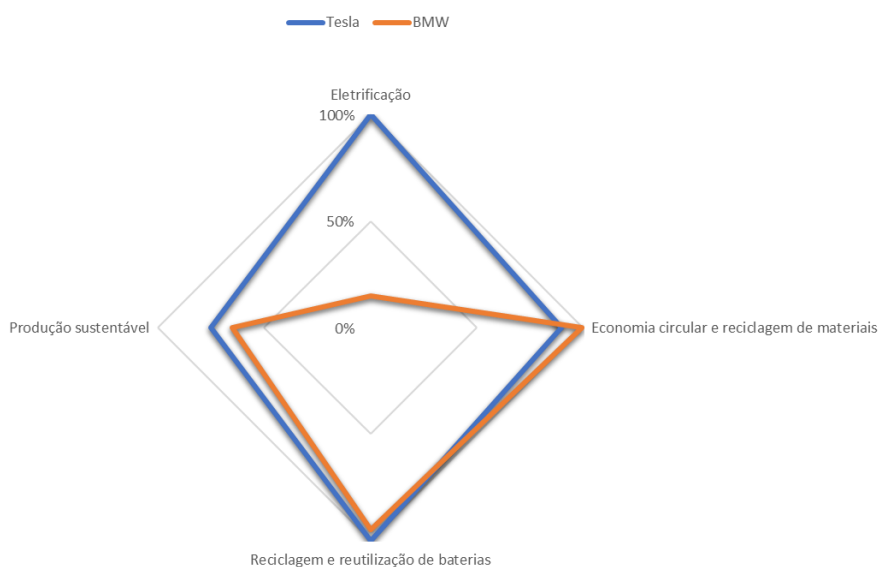
A implementação da economia circular no setor automóvel ainda enfrenta desafios significativos. Entre os principais obstáculos, destacam-se:

- Elevados custos de implementação de processos de reciclagem e reutilização de materiais.
- Dependência da extração de matérias-primas para a produção de baterias, como lítio, níquel e cobalto.
- Regulamentações ambientais variáveis entre diferentes mercados, o que dificulta a adoção de estratégias globais.

- Limitações tecnológicas na reciclagem de baterias e componentes eletrônicos, que tornam o processo dispendioso e complexo.

No entanto, a economia circular apresenta também oportunidades significativas para o futuro da indústria automóvel. Algumas das principais perspectivas incluem:

- O desenvolvimento de baterias de estado sólido, que reduzirão a dependência de metais raros e aumentarão a eficiência energética.
- A expansão da economia circular na produção automóvel, promovendo a reutilização de peças e a reciclagem de veículos no final da sua vida útil.
- O investimento em fábricas neutras em carbono, que utilizarão energia 100% renovável e processos produtivos otimizados para minimizar emissões.
- O avanço da digitalização e automação na produção automóvel, permitindo reduzir desperdícios e melhorar a eficiência dos processos industriais.



*Figura 30 - Interligação com o objeto de estudo.  
Adaptação própria.*

Este gráfico de radar compara Tesla com BMW em quatro áreas fundamentais de sustentabilidade e inovação na indústria automóvel: eletrificação, economia circular e reciclagem de materiais, reciclagem e reutilização de baterias e produção sustentável. O que este gráfico mostra é que Tesla lidera mais significativamente em todas as frentes. Por exemplo, no campo da eletrificação, onde Tesla tem o maior valor, é perfeitamente normal, pois a Tesla só constrói veículos elétricos, já a BMW produz híbridos e a combustão.

Em termos de economia circular e reciclagem de materiais, ambas as empresas pontuam mais ou menos o mesmo, demonstrando a sua capacidade de reaproveitar recursos e reduzir

os resíduos. No entanto, a BMW ainda tem uma ligeira vantagem, muito devido à sua estratégia de economia circular. Quanto à reciclagem e reutilização de baterias, a Tesla lidera, uma vez que prioriza os seus processos de reciclagem de baterias internos e procura minimizar o impacto ambiental das baterias. BMW também investe em tal operação, embora com resultados um pouco inferiores.

Finalmente, no campo da produção sustentável, a Tesla também lidera graças à sua grande dependência de energia renovável nas suas fábricas e automação que ajuda a reduzir matérias-primas. A BMW também tem iniciativas sustentáveis semelhantes, mas claramente ainda não adotou um modelo de produção mais limpo. Sendo assim, o gráfico revela uma liderança de Tesla numa escala não crítica, com esforços significativos de BMW, mas ainda há muito a fazer.

Esta dissertação demonstrou que a economia circular não é apenas uma necessidade ambiental, mas também uma estratégia fundamental para a inovação e competitividade no setor automóvel. A comparação entre a BMW e a Tesla revelou que diferentes abordagens podem ser bem-sucedidas. Ambas as empresas têm demonstrado que a mobilidade sustentável é uma realidade em constante evolução e que, apesar dos desafios, a transição para uma economia circular no setor automóvel é viável e necessária.

No futuro, espera-se que regulamentações ambientais mais rigorosas, avanços tecnológicos e a crescente consciencialização dos consumidores acelerem ainda mais a adoção de práticas sustentáveis na indústria automóvel. As empresas que conseguirem alinhar eficiência produtiva, inovação e compromisso ambiental destacar-se-ão como líderes na nova era da mobilidade elétrica e circular.

Concluindo, a investigação realizada reforça a ideia de que a economia circular não é apenas uma tendência, mas um caminho inevitável para o futuro da indústria automóvel, sendo essencial para garantir um equilíbrio entre crescimento económico, inovação tecnológica e preservação ambiental.

## Revisão bibliográfica

ACAP. (2024). ACAP. ACAP. <http://www.acap.pt/pt/estatisticas/graficos>

ACEA. (2022, março). *Economic and Market Report State of the EU auto industry Full-year 2021*. ACEA.

ACEA. (2024, setembro 5). The Automobile Industry Pocket Guide 2024/2025. ACEA - *European Automobile Manufacturers' Association*. <https://www.acea.auto/publication/the-automobile-industry-pocket-guide-2024-2025/>

Anurag, A. (2024). *Driving Change: Innovating Sustainability in the Automotive Industry*. Anurag Anurag.

APA. (2020). *Relatório Anual Resíduos Urbanos 2019*. Agência Portuguesa do Ambiente.

APA. (2024, julho 8). *Reciclagem – fluxos específicos de resíduos | Relatório do Estado do Ambiente*. <https://rea.apambiente.pt/content/reciclagem-%E2%80%93-fluxos-espec%C3%ADficos-de-res%C3%ADduos?utm>

Bakker, C. A., Wever, R., Teoh, Ch., & De Clercq, S. (2010). Designing cradle-to-cradle products: A reality check. *International Journal of Sustainable Engineering*, 3(1), 2–8. <https://doi.org/10.1080/19397030903395166>

Banco de Portugal. (2024). *Análise do setor automóvel*. BPstat. <https://bpstat.bportugal.pt/conteudos/publicacoes/1296>

Barman, P., Dutta, L., & Azzopardi, B. (2023). Electric Vehicle Battery Supply Chain and Critical Materials: A Brief Survey of State of the Art. *Energies*, 16(8), Artigo 8. <https://doi.org/10.3390/en16083369>

Bauer, T., Zwolinski, P., Nasr, N., & Mandil, G. (2020). Characterization of circular strategies to better design circular industrial systems. *Journal of Remanufacturing*, 10(3), 161–176. <https://doi.org/10.1007/s13243-020-00083-x>

Baxter, M. (2021). *Projeto de produto: Guia prático para o design de novos produtos*. Editora Blucher.

Bergman, D. (2013). *Sustainable Design: A Critical Guide*. Princeton Architectural Press.

Bernard, S. (2011). Remanufacturing. *Journal of Environmental Economics and Management*, 62(3), 337–351. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2011.05.005>

Best, K. (2006). *Design Management* (2ª).

Blanco, S. (2019, junho 13). *Tesla Moves to Fully Vegan, Leather-Free Interiors in Model 3 and Upcoming Model Y. Car and Driver.* <https://www.caranddriver.com/news/a28005209/tesla-vegan-interiors/>

BMW Group. (2022). *BMW Group Sustainability Report 2022.*

BMW Group. (2023a). *BMW Group Sustainability Report 2023.*

BMW Group. (2023b). *Circular Economy and Circularity at BMW Group.* <https://www.bmwgroup.com/en/sustainability/circular-economy.html>

BMW Group. (2024). *OUR AMBITIOUS COMMITMENT TO SUSTAINABILITY: THE BMW i VISION CIRCULAR.* <https://www.bmw.com/en/magazine/sustainability/circular-lab/vision-circular.html>

Bollentini, M. (2019, setembro 14). *Green Design, EcoDesign e Design Sustentável— Entenda as diferenças!* VASTO Paisagismo. <https://www.vasto.cc/single-post/2019/09/14/greendesign>

Bonaparte, M. E. (2019). *A indústria automóvel e o caminho para a sustentabilidade* [masterThesis, Instituto Politécnico de Setúbal. Escola Superior de Ciências Empresariais]. <https://comum.rcaap.pt/handle/10400.26/27758>

Brandão, M., Lazarevic, D., & Finnveden, G. (2020). *Handbook of the Circular Economy.* Edward Elgar Publishing.

Brown, T. (2009). *Change by Design: How Design Thinking Transforms Organizations and Inspires Innovation.* Harper Collins.

Brown, T. (2023). *IDEO Design Thinking.* IDEO | Design Thinking. <https://designthinking.ideo.com>

Buso, V. Z., & Martins, R. F. de F. (2012). A Gestão de Design como estratégia organizacional em uma empresa de complementos decorativos termocolantes de Londrina-PR. *Projetica*, 3(1), Artigo 1. <https://doi.org/10.5433/2236-2207.2012v3n1p130>

Carreto, R., & Carreto, C. (2018). *TERRITÓRIOS DO DESIGN CIRCULAR: REDESIGN DA METODOLOGIA PROJECTUAL.*

Caterpillar. (2019). *Cat® Reman | The Remanufacturing Process.* [https://www.cat.com/en\\_US/Products/New/Parts/Reman/the-Remanufacturing-](https://www.cat.com/en_US/Products/New/Parts/Reman/the-Remanufacturing-)

Process.Html. [https://www.cat.com/en\\_US/products/new/parts/reman/the-remanufacturing-process.html](https://www.cat.com/en_US/products/new/parts/reman/the-remanufacturing-process.html)

Charter, M. (2008). *Remanufacturing and product design*. [https://www.researchgate.net/publication/247834190\\_Remufacturing\\_and\\_product\\_design](https://www.researchgate.net/publication/247834190_Remufacturing_and_product_design)

Cicconi, P. (2020). Eco-design and Eco-materials: An interactive and collaborative approach. *Sustainable Materials and Technologies*, 23, e00135. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00135>

Cole, D. (2015). *BMW Timeline*. Coroflot. <https://www.coroflot.com/Dcole/BMW-Timeline>

Conselho da União Europeia. (2024, abril 12). *Euro 7: Conselho adota novas regras sobre limites de emissões para automóveis de passageiros, veículos comerciais ligeiros e camiões*. Consilium. <https://www.consilium.europa.eu/pt/press/press-releases/2024/04/12/euro-7-council-adopts-new-rules-on-emission-limits-for-cars-vans-and-trucks/>

Costa, N. L. M. (2021). *A Arte e a Técnica no Design Industrial Contemporâneo* [masterThesis]. <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/11648>

Domenech, T., & Bahn-Walkowiak, B. (2019). Transition Towards a Resource Efficient Circular Economy in Europe: Policy Lessons From the EU and the Member States. *Ecological Economics*, 155, 7–19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.11.001>

Dpto Comunicacion y Marketing. (2021, agosto 23). *Logística inversa: Tudo que precisa saber*. PANTOJA Grupo Logístico. <https://grupopantoja.com/pt-pt/logistica-inversa-tudo-que-precisa-saber/>

Dreyfuss, H. (1967). *Designing for People*. Paragrophic Books.

Duloquin, M. (2020, novembro 30). *How the Circular Economy can kickstart your innovation strategy: Capturing value with every loop*. Maria HD Innovation Consultant. <https://www.mariahalduloquin.com/blog/how-the-circular-economy-can-kickstart-your-innovation-strategy>

ECHA. (2023, dezembro). *Guidance for identification and naming of substances under REACH and CLP*. European Chemicals Agency. <https://doi.org/10.2823/87416>

EEA. (2024, dezembro 5). *Europe's circular economy in facts and figures*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/publications/europes-circular-economy-in-facts>

Ellen MacArthur Foundation. (2013). *Towards the circular economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*. Ellen MacArthur Foundation. <https://ellenmacarthurfoundation.org>

European Automobile Manufacturers' Association. (2023). *The Automobile Industry Pocket Guide*. <https://www.acea.auto/>

European Commission. (2019). *EU Road Safety Policy Framework 2021-2030—Next steps towards «Vision Zero»*.

European Commission. (2020). *Circular economy action plan*. [https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan\\_en](https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en)

European Commission. (2021, julho 14). *The European Green Deal—European Commission*. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_en](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en)

European Commission. (2023a). *End-of-Life Vehicles*. [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/end-life-vehicles\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/end-life-vehicles_en)

European Commission. (2023b, agosto 17). *Batteries*. [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/batteries_en)

European Environment Agency. (2019). *Circular economy in Europe: Developing the knowledge base*. <https://www.eea.europa.eu>

Eurostat. (2024, novembro). *End-of-life vehicle statistics*. [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=End-of-life\\_vehicle\\_statistics](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=End-of-life_vehicle_statistics)

Freitas, M. (2022). *Plano Nacional de Saúde 2030—Saúde Sustentável: De tod@s para tod@s*. Direção Geral de Saúde.

Freyssenet, M. (2009). *The Second Automobile Revolution: Trajectories of the World Carmakers in the 21st Century*. Palgrave Macmillan.

Geng, Y., & Doberstein, B. (2012). Developing the circular economy in China: Challenges and opportunities for achieving «leapfrog development». *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 19(5), 231–239. <https://doi.org/10.1080/13504509.2012.706982>

Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected

transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.007>

Grupo Muda. (2023, novembro 7). *Economia Circular: O que é, princípios chaves e benefícios* - Grupo Muda | Ambipar. Grupo Muda Ambipar. <https://grupomuda.com/economia-circular/>

Harper, G., Sommerville, R., Kendrick, E., Driscoll, L., Slater, P., Stolkin, R., Walton, A., Christensen, P., Heidrich, O., Lambert, S., Abbott, A., Ryder, K., Gaines, L., & Anderson, P. (2019). Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles. *Nature*, 575(7781), 75–86. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5>

Héry, M., & Malenfer, M. (2020). Development of a circular economy and evolution of working conditions and occupational risks—A strategic foresight study. *European Journal of Futures Research*, 8. <https://doi.org/10.1186/s40309-020-00168-7>

Iberdrola. (2021). *Design circular: Como repensar o processo de criação e apostar na sustentabilidade*. Iberdrola. <https://www.iberdrola.com/compromisso-social/design-circular>

ICCT. (2021). *ANNUAL REPORT 2020*. ICCT.

ICCT. (2024, janeiro). *On the Way to ‘Real-World’ CO2 Values? The European Passenger Car Market After 5 Years of WLTP*.

IEA. (2021). *Global EV Outlook 2021*. <https://www.iea.org>

IEA. (2023). *Global EV Outlook 2023*. <https://www.iea.org/>

Iivari, N., & Kinnula, M. (2018). *Empowering children through design and making: Towards protagonist role adoption*. 1–12. <https://doi.org/10.1145/3210586.3210600>

Iles, J. (2022, setembro 29). *Circular-ish: Embracing the messy reality of circular economy innovation*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/articles/circular-ish-embracing-the-messy-reality-of-circular-economy-innovation>

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Sixth Assessment Report: Climate Change 2021*. <https://www.ipcc.ch/>

International Renewable Energy Agency (IRENA). (2021). *World Energy Transitions*. <https://www.irena.org/>

IPCC. (2006). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 3: Industrial Processes and Product Use*. Intergovernmental Panel on Climate Change.

<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol3.html>

Kelley, D., & Kelley, T. (2013). *Creative Confidence: Unleashing the Creative Potential Within Us All*. HarperCollins UK.

Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. P. (2017). Conceptualizing the Circular Economy: An Analysis of 114 Definitions. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3037579>

Kjaer, L. L., Pigosso, D. C. A., Niero, M., Bech, N. M., & McAlloone, T. C. (2019). Product/Service-Systems for a Circular Economy: The Route to Decoupling Economic Growth from Resource Consumption? *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 22–35. <https://doi.org/10.1111/jiec.12747>

Knight, P., & Jenkins, J. O. (2009). Adopting and applying eco-design techniques: A practitioners perspective. *Journal of Cleaner Production*, 17(5), 549–558. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.10.002>

Koumoulos, E. P., Trompeta, A.-F., Santos, R.-M., Martins, M., Santos, C. M. dos, Iglesias, V., Böhm, R., Gong, G., Chiminelli, A., Verpoest, I., Kiekens, P., & Charitidis, C. A. (2019). Research and Development in Carbon Fibers and Advanced High-Performance Composites Supply Chain in Europe: A Roadmap for Challenges and the Industrial Uptake. *Journal of Composites Science*, 3(3), Artigo 3. <https://doi.org/10.3390/jcs3030086>

Krishnan, V., & Ulrich, K. T. (2001). Product Development Decisions: A Review of the Literature. *Management Science*, 47(1), 1–21. <https://doi.org/10.1287/mnsc.47.1.1.10668>

Kuijjer, L. (2014). Implications of social practice theory for sustainable design. *Delft University of Technology*.

Liu, B., Chen, D., Zhou, W., Nasr, N., Wang, T., Hu, S., & Zhu, B. (2018). The effect of remanufacturing and direct reuse on resource productivity of China's automotive production. *Journal of Cleaner Production*, 194, 309–317. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.119>

MacArthur, E. (2013). *Introdução à economia circular*. <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/pt/temas/economia-circular-introducao/visao-geral>

MacArthur, E. (2017). *Methods*. <https://www.circulardesignguide.com/methods>

MacArthur, E. (2022, janeiro). *RUMO À ECONOMIA CIRCULAR: O RACIONAL DE NEGÓCIO PARA ACELERAR A TRANSIÇÃO*.

Malik. (2024, março 12). *Tesla timeline: A journey through innovation*. <https://www.officetimeline.com/blog/tesla-inc-timeline>

Margolin, V., & Margolin, S. (2002). A “Social Model” of Design: Issues of Practice and Research. *Design Issues*, 18(4), 24–30. <https://doi.org/10.1162/074793602320827406>

Martin Geissdoerfer, Paulo Savaget, Nancy M. Bocken, & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>

Martins, A. L. B. (2015). *Reutilização de baterias automotivas como fonte alternativa de energia*. [Text, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/D.3.2016.tde-14062016-152132>

McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to cradle: Remaking the way we make things*. North Point Press.

Meegoda, J., Charbel, G., & Watts, D. (2024). Second Life of Used Lithium-Ion Batteries from Electric Vehicles in the USA. *Environments*, 11(5), Artigo 5. <https://doi.org/10.3390/environments11050097>

Melo, A., & Abelheira, R. (2015). *Design Thinking & Thinking Design: Metodologia, ferramentas e uma reflexão sobre o tema*. Novatec Editora.

Michel, G., Feori, M., Damhorst, M. L., Lee, Y.-A., & Niehm, L. (2017). THE STORIES WE WEAR: MENDING AND BLOGGING PATAGONIA BRAND APPAREL. *Global Fashion Management Conference*, 163–164.

Mineto, A. R. (2021). *A abordagem Quality by Design no desenvolvimento de produtos farmacêuticos: Conceitos, elementos e exemplos de aplicação*. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/238408>

Moreno, M., De los Rios, C., Rowe, Z., & Charnley, F. (2016). A Conceptual Framework for Circular Design. *Sustainability*, 8(9), Artigo 9. <https://doi.org/10.3390/su8090937>

Mozota, B. (2011). *Gestão do Design*.

Murray, R., Caulier-Grice, J., & Mulgan, G. (2010). *The Open Book of Social Innovation*. NESTA.

Musk, E. (2006, agosto 2). *The Secret Tesla Motors Master Plan (just between you and me)* | *Tesla Portugal*. Tesla. [https://www.tesla.com/pt\\_pt/secret-master-plan](https://www.tesla.com/pt_pt/secret-master-plan)

Nadja Horn & BMW Group. (2022, setembro 19). *BMW Group Sustainability through Innovation 2022*. <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0403367EN/bmw-group-sustainability-through-innovation-2022?language=en>

Naor, M. (2022). Recycling—Recent Advances. Em *ResearchGate*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107256>

Nieuwenhuis, P., & Wells, P. (2015). *The Automotive Industry and the Environment*. Routledge.

Norman, D. (1988). *O design do dia-a-dia*.

OECD. (2016). *Extended Producer Responsibility: Updated Guidance for Efficient Waste Management*. [https://www.oecd.org/en/publications/extended-producer-responsibility\\_9789264256385-en.html](https://www.oecd.org/en/publications/extended-producer-responsibility_9789264256385-en.html)

OICA. (2024). *International Organization of Motor Vehicle Manufacturers OICA is the voice speaking on automotive issues in world forums*. <https://www.oica.net/production-statistics/>

Organisation Internationale des Constructeurs d'Automobiles (OICA). (2020). *Economic Impact of the Automotive Industry*. <http://www.oica.net>

Papanek, V. J. (1985). *Design for the Real World: Human Ecology and Social Change*. Academy Chicago.

Pazmino, A. V. (2007). Uma reflexão sobre design social, eco design e design sustentável. *Simpósio Brasileiro de Design Sustentável, 1*, 1–4.

Philips. (2020). *O nosso plano—Sustentabilidade*. Philips. <https://www.philips.pt/c-e/sustainability/produtos-ecologicos.html>

Platchek, E. R. (2003). *Metodologia de ecodesign para o desenvolvimento de produtos sustentáveis*. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/117875>

REMONDIS. (2024). *Cradle to Cradle // REMONDIS Sustainability*. <https://www.remondissustainability.com/inspiring/cradle-to-cradle/>

Renault Group. (2021). *Refactory*. Renault Group. <https://www.renaultgroup.com/groupe/refactory/>

Ries, L. (2023). Creating Sustainable Products: The Road to Circularity. Em *ResearchGate* (pp. 123–157). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-42224-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-42224-9_5)

Sage, A. (2015, setembro 30). Tesla delivers Model X electric SUV to take on luxury carmakers. *Reuters*. <https://www.reuters.com/article/lifestyle/tesla-delivers-model-x-electric-suv-to-take-on-luxury-carmakers-idUSKCN0RU09I/>

Sauvet-Goichon, V. (2024, dezembro 9). Electric vehicles and low-carbon materials are key to our climate strategy. *Renault Group*. <https://back.renaultgroup.com/magazine/developpement-durable/electrification-et-materiaux-bas-carbone-fers-de-lance-de-notre-strategie-climat/>

Singhal, D., Tripathy, S., & Jena, S. K. (2020). Remanufacturing for the circular economy: Study and evaluation of critical factors. *Resources, Conservation and Recycling*, 156, 104681. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104681>

Sousa, B. (2009). *A Gestão do Design em Português*. Escola Superior de Artes e Design de Matosinhos.

Stahel, W. R. (2016). *The circular economy: A user's guide*. Routledge.

Staichak, E. J. (2013). *O impacto da remanufatura no meio ambiente, um enfoque no reaproveitamento no fim de vida do produto: Um estudo de caso*. <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/23480>

Statista. (2023). *Worldwide motor vehicle production from 2000 to 2023*. <https://www.statista.com/statistics/262747/worldwide-automobile-production-since-2000/>

Stott, R. (2016, abril 5). *ELEMENTAL Releases Plans of 4 Housing Projects for Open-Source Use*. ArchDaily. <https://www.archdaily.com/785023/elemental-releases-plans-of-4-housing-projects-for-open-source-use>

Sudarshancadd. (2024, julho 24). Product Design Vs. Industrial Design: A Comprehensive Guide. *Sudarshan CADD*. <https://sudarshancadd.com/blog/industrial-design-vs-product-design/>

Sumter, D., de Koning, J., Bakker, C., & Balkenende, R. (2020). Circular Economy Competencies for Design. *Sustainability*, 12(4), Artigo 4. <https://doi.org/10.3390/su12041561>

Sundin, E., & Lee, H. M. (2012). In what way is remanufacturing good for the environment? Em M. Matsumoto, Y. Umeda, K. Masui, & S. Fukushige (Eds.), *Design for Innovative Value Towards a Sustainable Society* (pp. 552–557). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/978-94-007-3010-6\\_106](https://doi.org/10.1007/978-94-007-3010-6_106)

Talla, A., & McIlwaine, S. (2024). Industry 4.0 and the circular economy: Using design-stage

digital technology to reduce construction waste. *Smart and Sustainable Built Environment*, 13(1), 179–198. <https://doi.org/10.1108/SASBE-03-2022-0050>

Tesla. (2022). *Tesla Impact report 2021*.

Tesla. (2023). *Tesla Impact report 2023*.

Tukker, A., Eder (IPTS, P., Charter, M., Haag, E., Vercauteren, A., & Wiedmann, T. (2001). Eco-design: The State of Implementation in Europe – Conclusions of a State of the Art Study for IPTS. *The Journal of Sustainable Product Design*, 1(3), 147–161. <https://doi.org/10.1023/A:1020564820675>

Ulrich, K. T., Eppinger, S., & Yang, M. (2020). *Product Design and Development (7<sup>a</sup>)*. McGraw Hill.

Ünal, E., Urbinati, A., & Chiaroni, D. (2018). Managerial practices for designing circular economy business models: The case of an Italian SME in the office supply industry. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 561–589. <https://doi.org/10.1108/JMTM-02-2018-0061>

UNICEF. (2015). *Project Mwana | UNICEF Office of Innovation*. <https://www.unicef.org/innovation/stories/project-mwana>

United Nations Environment Programme (UNEP). (2022). *Emissions Gap Report 2022*. <https://www.unep.org/>

Vezzoli, C. A., & Manzini, E. (2008). *Design for Environmental Sustainability*. Springer Science & Business Media.

Wang, Z. (2024). A Case Study: Tesla's Acquisition of Solar City. *Highlights in Business, Economics and Management*, 30, 29–37. <https://doi.org/10.54097/5yqqdv982>

Wastling, T., Charnley, F., & Moreno, M. (2018). Design for Circular Behaviour: Considering Users in a Circular Economy. *Sustainability*, 10(6), Artigo 6. <https://doi.org/10.3390/su10061743>

World Economic Forum. (2020). *The Future of the Automotive Industry: Transformation in Times of Uncertainty*. <https://www.weforum.org/>

World Resources Institute (WRI) & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD). (2004). *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard*. <https://ghgprotocol.org/>



