

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE  
PRODUÇÃO

Tiago Sinigaglia

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA DOS VEÍCULOS  
COM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DOS VEÍCULOS  
ELETRIFICADOS**

Santa Maria, RS  
2023



**Tiago Sinigaglia**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA DOS VEÍCULOS  
COM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DOS VEÍCULOS  
ELETRIFICADOS**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção**.

Orientador: Prof. Dr. Mario Eduardo Santos Martins  
Coorientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

Santa Maria, RS  
2023

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Sinigaglia, Tiago

Análise do ciclo de vida da tecnologia dos veículos com motores de combustão interna e dos veículos

eletrificados / Tiago Sinigaglia.- 2023.

163 p.; 30 cm

Orientador: Mario Eduardo Santos

Martins Coorientador: Julio Ce-

zar Mairesse

Siluk

Tese (doutorado) - Universidade Federal de

Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de

Pós-Graduação em Engenharia de Produção, RS,

2023

1. Veículos híbridos 2. Veículos elétricos a  
bateria 3. Veículos a célula de combustível. 4.  
Modelo Logístico 5. Fatores críticos de sucesso  
I. Martins, Mario Eduardo Santos II. Siluk, Julio  
Cezar Mairesse III. Tí-  
tulo.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, TIAGO SINIGAGLIA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Tiago Sinigaglia**

**ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA DOS VEÍCULOS  
COM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DOS VEÍCULOS  
ELETRIFICADOS**

Tese de doutorado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutor em Engenharia de Produção**.

**Aprovado em 31 de março de 2023:**

---

**Mario Eduardo Santos Martins, Dr (UFSM)**  
(Presidente/Orientador)

---

**Thompson Diórdinis Metzka Lanza Nova, Dr (UFSM)**

---

**Jean Lucca Souza Fagundes, Dr (UFSM)**

---

**Vinícius Rückert Roso, Dr (UFSM)**

---

**Rafael Lago Sari, Dr (ARAMCO)**



## DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Margarete e Nadil, pelos ensinamentos e pelo apoio em todas as minhas escolhas. Pessoas estas que sempre me incentivaram e apoiaram para seguir os meus estudos e lutar perante aos desafios que a vida nos propõe.

Dedico também a minha avó Izaltina pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida e pelos ensinamentos.

A minha irmã Patrícia pelos incentivos e pelo apoio em todas as minhas escolhas.

A Monice, pelo companheirismo, pela motivação e pela dedicação comigo.





## AGRADECIMENTOS

*Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, porém, agradeço de forma especial:*

*- A Deus por acompanhar-me nessa jornada, por sempre estar ao meu lado me protegendo e me guiando frente aos desafios impostos pela vida.*

*- À minha família, pelo apoio e pelo estímulo que recebi nesta caminhada, que certamente fizeram a diferença.*

*- Ao professor Mario Eduardo Santos Martins por todas as orientações prestadas, ensinamentos, experiências compartilhadas e pelo incentivo.*

*- Aos demais professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, por todos os ensinamentos e vivências compartilhadas.*

*- Aos professores da banca de qualificação, Jonas Roberto Tibola, Rafael Lago Sari, Thompson Diórdinis Metzka Lanzasova e Vinícius Rückert Roso, pelas considerações ao trabalho e sugestões de melhoria.*

*- Aos professores da banca de defesa, Rafael Lago Sari, Thompson Diórdinis Metzka Lanzasova, Vinícius Rückert Roso e Jean Lucca Souza Fagundez.*

*- Aos colegas de doutorado, pela convivência e amizade, durante esse período importante na minha vida.*

*- A CAPES pela concessão da bolsa de estudos e a UFSM pela oportunidade de realizar esse doutorado. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.*



*Se você pode sonhar, você pode fazer.*

Walt Disney



## RESUMO

### ANÁLISE DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA DOS VEÍCULOS COM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E DOS VEÍCULOS ELETRIFICADOS

AUTOR: Tiago Sinigaglia

ORIENTADOR: Prof. Dr. Mario Eduardo Santos Martins

COORIENTADOR: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

No cenário atual, no mundo, cerca de 99,8% dos meios de transportes são movidos por motores de combustão interna (MCI). O transporte ainda é responsável por 24% das emissões diretas de CO<sub>2</sub> através da queima de combustíveis. Atualmente, têm-se buscado o desenvolvimento dos veículos elétricos, com o intuito de reduzir as emissões de gases poluentes e causadores do efeito estufa (GEE) na mobilidade. Concomitantemente, intensas pesquisas visando às melhorias de desempenho e eficiência nos MCIs têm sido executadas. Para os pesquisadores, políticos e decisores empresariais, conhecer o estágio de desenvolvimento da tecnologia, as tendências e os fatores que influenciam a difusão da tecnologia, é essencial para tomar decisões assertivas. Portanto, o presente estudo teve como objetivo analisar o ciclo de vida das tecnologias dos veículos com motores de combustão interna e dos veículos elétricos. Ainda, buscou-se identificar os fatores críticos de sucesso (FCS), para difusão dos veículos elétricos. Através de dados de patentes coletados no USPTO (*United States Patent Trademark Office*) e no EPO (*European Patent Office*) foram estimados o ciclo de vida das tecnologias, com o modelo Logístico e o *software* Loglet Lab 4. A velocidade de difusão da tecnologia e a taxa de crescimento foram estimadas para cada um dos sistemas de *powertrain*. A partir dos documentos colhidos nas bases de dados Scopus e Web of Science, através de uma revisão sistemática de literatura, reuniu-se os principais FCS que influenciam a difusão dos veículos elétricos. Os resultados mostraram que o MCI possui uma sobrevida de cerca de duas a três décadas até ocorrer à saturação no número de patentes (prevista para 2037-2043). Os dados de patentes mostram que os *BEVs* (*Battery electric vehicles*) são a área “quente” do movimento tecnológico, com taxas de crescimento anuais entre 6-7%, causando os maiores esforços de pesquisa e desenvolvimento (P&D). Os *BEVs* e *FCEVs* (*Fuel cell electric vehicles*) apresentaram as maiores velocidades de difusão da tecnologia, em 2020. Contudo, os veículos elétricos ainda possuem várias barreiras para a sua difusão, em aspectos tecnológicos, econômicos, ambientais, político-sociais e de *marketing*.

**Palavras-chave:** Veículos híbridos. Veículos elétricos a bateria. Veículos a célula de combustível. Modelo Logístico. Fatores críticos de sucesso.



## ABSTRACT

### TECHNOLOGY LIFE CYCLE ANALYSIS OF VEHICLES WITH INTERNAL COMBUSTION ENGINES AND ELECTRIC VEHICLES

AUTHOR: Tiago Sinigaglia

ADVISOR: Mario Eduardo Santos Martins

COADVISOR: Julio Cezar Mairesse Siluk

In the current scenario, about 99.8% of transports are powered by internal combustion engines (ICE). Transport is still responsible for 24% of direct CO<sub>2</sub> emissions through the burning of fuels. Presently, efforts have been made to develop electric vehicles, with the aim of reducing greenhouse gas (GHG) emissions in mobility. Concomitantly, intense research focused at improving the performance and efficiency of ICEs has been carried out. For researchers, politicians and business decision makers, knowing the stage of technology development, trends and factors that influence technology diffusion is essential to make assertive decisions. Therefore, the present study aimed to analyze the technology lifecycle of vehicles with internal combustion engines and electric vehicles. Still, we tried to identify the critical success factors (CSF) for the diffusion of electric vehicles. Through patent data collected at the USPTO (United States Patent Trademark Office) and at the EPO (European Patent Office), the technology life cycle was estimated, using the Logistic model and the Loglet Lab 4 software. The growth rates were estimated for each of the powertrain systems. Also from the documents collected in Scopus and Web of Science databases, through a systematic literature review, the main FCS that influence the diffusion of electric vehicles were gathered. The results showed that the ICE has a survival of about two to three decades until the saturation in the number of patents occurs (expected for 2037-2043). Patent data shows that BEVs (Battery electric vehicles) are the "hot" area of the technology movement, with annual growth rates between 6-7%, causing the greatest research and development (R&D) efforts. BEVs and FCEVs (Fuel cell electric vehicles) showed the highest technology diffusion speeds in 2020. Regardless, electric vehicles still have numerous barriers to their diffusion, in technological, economic, environmental, political, social and marketing aspects.

**Keywords:** Hybrid electric vehicle. Battery electric vehicle. Fuel cell vehicle. Logistic model. Critical success factor.





## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| Quadro 1- Buscas realizadas nas bases de dados Scopus e Web of Science.....                  | 28 |
| Quadro 2- Definições de fatores críticos de sucesso .....                                    | 66 |
| Quadro 3- Especificações técnicas de alguns modelos de veículos elétricos.....               | 72 |
| Quadro 4- Enquadramento metodológico.....  | 79 |
| Quadro 5- Estratégias de buscas para as famílias de patentes .....                           | 83 |
| Quadro 6- Número total de famílias de patentes por tecnologia e base de dados.....           | 85 |
| Quadro 7- Projeções de saturação e dados estatísticos para cada tecnologia<br>analisada..... | 92 |
| Quadro 8- Estimativa de Precisão do modelo Logístico .....                                   | 93 |
| Quadro 9- Velocidade de difusão das tecnologias de powertrain.....                           | 97 |



## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1- Rota de produção de biodiesel por transesterificação .....  | 36 |
| Figura 2- Veículo híbrido elétrico plug-in .....  | 45 |
| Figura 3- Veículo híbrido elétrico em série .....   | 46 |
| Figura 4- Veículo híbrido elétrico em paralelo.....   | 47 |
| Figura 5- Sistema de powertrain dos BEVs.....   | 47 |
| Figura 6- Sistema de powertrain dos FCEVs.....  | 49 |
| Figura 7- Veículo a célula de combustível de etanol .....   | 49 |
| Figura 8- Emissões de GEE de diferentes combustíveis e sistemas de powertrain na Europa .....   | 52 |
| Figura 9- Emissões comparativas de GEE do ciclo de vida ao longo de 150000 km de rodagem de um carro de porte médio por sistema de powertrain ..... | 53 |
| Figura 10- Emissões comparativas de GEE do ciclo de vida ao longo de 200000 km de vida de um veículo de passageiro .....                            | 55 |
| Figura 11- Curva S do ciclo de vida da tecnologia .....   | 60 |
| Figura 12- Etapas metodológicas da pesquisa.....  | 81 |
| Figura 13- Número de famílias de patentes publicadas por tecnologia e base de dados .....   | 86 |
| Figura 14- Número cumulativo de patentes por tecnologia de powertrain e base de dados .....   | 87 |
| Figura 15- Taxa de crescimento da tecnologia para os ICEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B) .....  | 88 |
| Figura 16- Taxa de crescimento da tecnologia para os HEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B) .....   | 89 |
| Figura 17- Taxa de crescimento da tecnologia para os BEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B) .....   | 90 |
| Figura 18- Taxa de crescimento da tecnologia para os FCEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B).....   | 91 |
| Figura 19- Ciclo de vida da tecnologia para os ICEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B) .....  | 94 |
| Figura 20-Ciclo de vida da tecnologia para os BEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B) .....  | 94 |

|  |     |
|--|-----|
| Figura 21- Ciclo de vida da tecnologia para os HEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B) .....                      | 95  |
| Figura 22- Ciclo de vida da tecnologia para os FCEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B) .....                     | 96  |
| Figura 23- Velocidade de difusão das tecnologias de powertrain ao longo dos anos para os dados do USPTO .....    | 98  |
| Figura 24- Velocidade de difusão das tecnologias de powertrain ao longo dos anos para os dados do EPO.....       | 99  |
| Figura 25- Países de prioridade das famílias de patentes publicadas no USPTO para os sistemas de powertrain..... | 100 |
| Figura 26- Países de prioridade das famílias de patentes publicadas no EPO para os sistemas de powertrain .....  | 101 |
| Figura 27- Fatores críticos de sucesso para a difusão dos veículos elétricos .....                               | 103 |
| Figura 28- Distribuição geográfica dos artigos incluídos na revisão sistemática da literatura.....               | 104 |
| Figura 29- Nível de importância dos FCS para os veículos elétricos .....   | 105 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|                 |  |
|-----------------|--|
| A               | Número total de citações recebidas   |
| ANP             | Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis                                  |
| B               | Número total de patentes consideradas para a difusão   |
| BEV             | Veículo elétrico a bateria ( <i>Battery electric vehicle</i> )                               |
| B2              | 2% de biodiesel no diesel  |
| B5              | 5% de biodiesel no diesel  |
| B20             | 20% de biodiesel no diesel   |
| CAAA            | <i>Emendas a Lei do Ar Limpo (Clean Air Act Amendments)</i>                                  |
| CNG             | Gás natural comprimido ( <i>Compressed natural gas</i> )                                     |
| CH <sub>4</sub> | Metano   |
| CO              | Monóxido de carbono  |
| CO <sub>2</sub> | Dióxido de carbono   |
| E10             | 10% de etanol e 90% de gasolina, em volume   |
| E85             | 85% de etanol anidro e 15% de gasolina, em volume  |
| EGR             | Recirculação dos gases do escape ( <i>Exhaust gas recirculation</i> )                        |
| EP              | Organização Europeia de patentes (EPO)   |
| EPO             | Instituto Europeu de Patentes ( <i>European Patent Office</i> )                              |
| ERL             | Vida restante estimada ( <i>Espected remaining life</i> )                                    |
| FCEV            | Veículo elétrico a célula de combustível ( <i>Fuel cell electric vehicle</i> )               |
| FCS             | Fatores críticos de sucesso  |
| GEE             | Gases do efeito estufa   |
| G <sub>1</sub>  | Taxa de crescimento anual  |
| GNC             | Gás natural comprimido   |
| GNL             | Gás natural liquefeito   |
| GNV             | Gás Natural Veicular   |
| H <sub>2</sub>  | Hidrogênio   |
| HCCI            | Ignição por compressão de carga homogênea ( <i>Homogeneous Charge Compression Ignition</i> ) |
| HEV             | Veículo elétrico híbrido ( <i>Hybrid electric vehicle</i> )                                  |
| HVO             | Óleo vegetal hidrotratado  |

|                  |   |
|------------------|---|
| ICEV             | Veículo com motor a combustão interna ( <i>Internal combustion engine vehicle</i> )           |
| INPI             | Instituto Nacional de Propriedade Industrial  |
| IPC              | <i>International Patent Classification</i>  |
| IRENA            | <i>International Renewable Energy Agency</i>  |
| IVA              | Imposto sobre valor agregado  |
| JPO              | Escritório de patentes do Japão ( <i>Japan Patent Office</i> )                                |
| K                | Nível de saturação no número cumulativo de patentes   |
| $k_{\text{now}}$ | Número cumulativo de patentes no tempo presente   |
| LNG              | Gás natural liquefeito ( <i>Liquefied natural gas</i> )                                       |
| MAD              | Desvio médio absoluto ( <i>Mean absolute deviation</i> )                                      |
| MAPE             | Erro percentual absoluto médio ( <i>Mean absolute percentage error</i> )                      |
| MCI              | Motor de combustão interna  |
| Mtoe             | Milhões de toneladas de óleo equivalente  |
| MP               | Material particulado  |
| N                | Número de dados   |
| $N_2$            | Nitrogênio  |
| NCA              | Óxido de lítio—níquel-cobalto- alumínio   |
| Ni-1             | Número de documentos de patentes no ano anterior (i-1)  |
| NMC              | Óxido de lítio-níquel-manganês- cobalto   |
| $NO_x$           | Óxido de nitrogênio   |
| $O_2$            | Oxigênio  |
| $O_3$            | Ozônio  |
| PCCI             | Ignição por compressão de carga pré-misturada ( <i>Premixed charge compression ignition</i> ) |
| P&D              | Pesquisa e desenvolvimento  |
| PEM              | Membrana de troca de prótons ( <i>Proton exchange membrane</i> )                              |
| PFP              | Stratificação parcial de combustível ( <i>Partial fuel stratification</i> )                   |
| PHEV             | Veículo elétrico híbrido <i>plug-in</i> ( <i>Plug-in hybrid electric vehicle</i> )            |
| PPA              | Potencial de patentes para aparecer ( <i>Potential Patent to appear</i> )                     |
| PROALCOOL        | Programa Nacional do Álcool   |

|                  |   |
|------------------|---|
| P(t)             | Patentes em função do tempo   |
| PVF              | Ponto de vista fundamental  |
| R <sup>2</sup>   | Coeficiente de determinação   |
| RCCI             | Ignição por compressão controlada por reatividade ( <i>Reactivity controlled compression ignition</i> ) |
| SOFC             | Células a combustível de óxido sólido ( <i>Solid oxide fuel cells</i> )                                 |
| SO <sub>x</sub>  | Óxidos de enxofre   |
| TDS              | Velocidade de difusão da tecnologia ( <i>Technology diffusion speed</i> )                               |
| T <sub>now</sub> | Tempo presente  |
| T <sub>k</sub>   | Ano que vai ocorrer a saturação no número de patentes   |
| TMR              | Taxa de maturidade tecnológica ( <i>Technological maturity rate</i> )                                   |
| EU               | União Europeia  |
| USPTO            | <i>United States Patent and Trademark Office</i>  |
| VGNs             | Veículo a gás natural   |
| WIPO             | <i>World Intellectual Property Organization</i>   |
| WO               | Organização Mundial da Propriedade Intelectual (WIPO)   |
| WTW              | Poço-à-roda ( <i>Well -to -wheels</i> )   |
| X <sub>j</sub>   | Número de famílias de patentes publicadas no j-ésimo período  |
| $\hat{X}_j$      | Previsão correspondente para o mesmo período  |
| $\alpha$         | Taxa de crescimento da inclinação da curva  |
| $\rho$           | Ponto de inflexão da curva logística  |





## SUMÁRIO

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>25</b> |
| 1.1            | OBJETIVO GERAL .....   | 26        |
| 1.2            | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 26        |
| 1.3            | JUSTIFICATIVA .....  | 27        |
| <b>2</b>       | <b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....   | <b>29</b> |
| 2.1            | VEÍCULO COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA .....   | 29        |
| <b>2.1.1</b>   | <b>Tendências para melhoramento dos MCIs</b> .....                                       | <b>30</b> |
| <b>2.1.2</b>   | <b>Combustíveis alternativos</b> .....   | <b>33</b> |
| <b>2.1.2.1</b> | <b>Etanol</b> .....  | <b>33</b> |
| <b>2.1.2.2</b> | <b>Biodiesel</b> .....   | <b>35</b> |
| <b>2.1.2.3</b> | <b>Biogás e biometano</b> .....  | <b>38</b> |
| <b>2.1.2.4</b> | <b>Hidrogênio</b> .....  | <b>39</b> |
| <b>2.1.2.5</b> | <b>Gás natural</b> .....   | <b>42</b> |
| 2.2            | VEÍCULOS ELÉTRICOS .....   | 44        |
| <b>2.2.1</b>   | <b>Veículo elétrico híbrido (<i>Hybrid electric vehicle</i>)</b> .....                   | <b>44</b> |
| <b>2.2.2</b>   | <b>Veículo elétrico a bateria (<i>Battery electric vehicle</i>)</b> .....                | <b>47</b> |
| <b>2.2.3</b>   | <b>Veículo elétrico a célula de combustível (<i>Fuel cell electric vehicle</i>)</b> .... | <b>48</b> |
| 2.3            | EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA .....   | 51        |
| 2.4            | ANÁLISE DE PATENTES .....  | 57        |
| 2.5            | CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA .....  | 59        |
| <b>2.5.1</b>   | <b>Ritmo de desenvolvimento da tecnologia</b> .....                                      | <b>63</b> |
| <b>2.5.2</b>   | <b>Velocidade de difusão tecnológica</b> .....   | <b>63</b> |
| <b>2.5.3</b>   | <b>Taxa de crescimento da tecnologia</b> .....   | <b>64</b> |
| <b>2.5.4</b>   | <b>Inovações disruptivas ou incrementais</b> .....                                       | <b>65</b> |
| 2.6            | FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO .....  | 66        |
| <b>2.6.1</b>   | <b>Fatores político-sociais</b> .....  | <b>67</b> |
| <b>2.6.2</b>   | <b>Fatores tecnológicos</b> .....  | <b>70</b> |
| <b>2.6.3</b>   | <b>Fatores econômicos</b> .....  | <b>74</b> |
| <b>2.6.4</b>   | <b>Fatores de <i>marketing</i></b> .....   | <b>75</b> |
| <b>2.6.5</b>   | <b>Fatores ambientais</b> .....  | <b>77</b> |
| <b>3</b>       | <b>METODOLOGIA</b> .....   | <b>79</b> |
| 3.1            | ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO .....   | 79        |
| 3.2            | DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA.....   | 80        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| <b>4</b> | <b>RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>   | <b>85</b>  |
| 4.1      | ESTIMATIVA DA TAXA DE CRESCIMENTO DA TECNOLOGIA .....  | 85         |
| 4.2      | ESTIMATIVA DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA .....  | 91         |
| 4.3      | ESTIMATIVA DA VELOCIDADE DE DIFUSÃO DA TECNOLOGIA .....  | 96         |
| 4.4      | PAÍSES E ORGANIZAÇÕES DE PRIORIDADE E EMPRESAS DETENTORAS<br>DAS FAMÍLIAS DE PATENTES .....                                      | 99         |
| 4.5      | FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA OS VEÍCULOS ELÉTRICOS .....   | 102        |
| <b>5</b> | <b>CONCLUSÕES.....</b>   | <b>107</b> |
| 5.1      | LIMITAÇÕES.....  | 110        |
| 5.2      | ESTUDOS FUTUROS .....  | 110        |
| 5.3      | PUBLICAÇÕES .....  | 110        |
|          | <b>REFERÊNCIAS .....</b>   | <b>112</b> |
|          | <b>ANEXO A- EXEMPLOS DE INCENTIVOS CONCEDIDOS PARA ESTÍMULO<br/>DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS.....</b>                                  | <b>149</b> |
|          | <b>ANEXO B- CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE PATENTES .....</b>  | <b>151</b> |
|          | <b>APÊNDICE A- Empresas detentoras das famílias de patentes publicadas<br/>no USPTO por tecnologia de <i>powertrain</i>.....</b> | <b>154</b> |
|          | <b>Apêndice B- Empresas detentoras das famílias de patentes publicadas<br/>no EPO por tecnologia de <i>powertrain</i> .....</b>  | <b>156</b> |
|          | <b>Apêndice C- Fatores críticos de sucesso para os veículos elétricos...</b>   | <b>158</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Os veículos com motores de combustão interna (*internal combustion engine vehicles ou ICEVs*) são responsáveis por uma parcela significativa das emissões de gases causadores do efeito estufa (GEE). Atualmente, o setor de transportes é quase inteiramente movido por motores de combustão interna (MCI) (>99%) (MILLS, 2022). Ainda, o setor é responsável por 24% das emissões diretas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) da queima de combustíveis (IEA, 2020a), não obstante, as intensas buscas de alternativas tecnológicas para a redução de emissões de GEE. Nesse sentido, o uso de veículos híbridos elétricos (*Hybrid Electric Vehicles- HEVs*), veículos elétricos a bateria (*Battery Electric Vehicles- BEVs*), veículos elétricos a célula de combustível (*Fuel Cell electric vehicles- FCEVs*) ou veículos a combustão interna, movidos a biocombustíveis como biometano, bioetanol, biohidrogênio e outros, com incremento tecnológico que aumente a eficiência de seu MCI, se apresentam como alternativas para a redução das emissões de GEE.

Os veículos elétricos são uma tecnologia com potencial para ajudar a reduzir as emissões de GEE, poluição do ar local e ruído veicular (HAWKINS *et al.*, 2013; HOSSAIN, M. S. *et al.*, 2022). Ainda não há emissões durante o uso do veículo *BEV* ou *FCEV* (MIRI; FOTOUHI; EWIN, 2021; NICOLAIDES; CEBON; MILES, J., 2018). Contudo, os veículos elétricos ainda apresentam barreiras que precisam ser reduzidas ou sanadas, para tornarem-se competitivos e promissores. As principais barreiras para os veículos elétricos são o alto custo, baixa autonomia e reduzida aceitação pública (HARDMAN, S., 2019; LI, W. *et al.*, 2017; LIAO, F.; MOLIN; WEE, VAN, 2017; PRUSSI, M. *et al.*, 2019; SARITAS; MEISSNER; SOKOLOV, 2019). A disponibilidade de estações de carregamento também é um fator crítico para a implantação dos veículos elétricos (LAMONACA; RYAN, 2022).

A magnitude destas barreiras difere em relação ao estágio do ciclo de vida em que a tecnologia se encontra (KARAKAYA; KERIN, 2007). As tecnologias ou produtos passam por diferentes fases do ciclo de vida, que vão desde o desenvolvimento até a retirada do mercado (GAO *et al.*, 2013). As fases do ciclo de vida da tecnologia são: introdução, crescimento, maturidade e saturação. Em cada um desses estágios do ciclo de vida, diferentes decisões estratégicas de investimento em P&D (Pesquisa e desenvolvimento) podem ser derivadas (ERNST, H., 1997). Para estimar o desenvolvimento futuro de uma tecnologia e decidir se

deve ou não investir nela, é necessário conhecer o estágio atual de seu ciclo de vida (GAO *et al.*, 2013). O prognóstico tecnológico é importante para entender quando migrar para uma nova atividade ou deixar uma tecnologia existente (ORHAN B ALANKUS, 2017). É possível conhecer a evolução do ciclo de vida da tecnologia a partir de dados de patentes (ALTUNTAS; DERELI; KUSIAK, 2015; YUAN, P. X.; CAI, Yuchen, 2021) ou com dados históricos de vendas (AYYADI; MAAROUFI, 2018; WANG, Y. H.; TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V., 2015).

Dada a importância deste tema, face ao cenário estabelecido nas tecnologias de *powertrain*, avaliar o ciclo de vida é essencial para tomar decisões estratégicas corretas. Trata-se de um cenário no qual as tecnologias e empresas atualmente estabelecidas tendem a sofrer com a concorrência acirrada. Diante desse contexto, se apresenta a seguinte pergunta: em que fase do ciclo de vida da tecnologia cada um dos sistemas de *powertrain* para veículos se encontram e quais os principais fatores que afetam a difusão de cada tecnologia? Espera-se, portanto, nesta pesquisa, responder a este questionamento.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o ciclo de vida da tecnologia dos veículos com motor de combustão interna e dos veículos elétricos e apresentar os principais fatores que influenciam a difusão da tecnologia.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os principais objetivos específicos para este estudo são:

- a) Determinar o ciclo de vida da tecnologia dos veículos com motores de combustão interna;
- b) Analisar o ciclo de vida da tecnologia dos veículos elétricos (*HEVs*, *BEVs* e *FCEVs*);
- c) Estimar o ciclo de vida da tecnologia com o Modelo Logístico;
- d) Apresentar a velocidade de difusão da tecnologia para os *ICEVs*, *HEVs*, *BEVs* e *FCEVs*;
- e) Calcular a taxa de crescimento da tecnologia para os *ICEVs*, *HEVs*, *BEVs*, *FCEVs*;

- f) Coletar na bibliografia os fatores que influenciam a difusão dos veículos elétricos.

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A justificativa da pesquisa está organizada segundo duas perspectivas: a dos investidores, decisores políticos e empresariais e a do ponto de vista acadêmico científico. Sob a perspectiva do planejamento estratégico este estudo visa servir como meio de suporte à decisão para pesquisadores, políticos, decisores empresariais e investidores. Todas essas pessoas precisam conhecer o estágio da tecnologia e também a perspectiva dessa tecnologia para uma melhor tomada de decisão (DEHGHANI MADVAR *et al.*, 2019). Dentro disso, as informações de patentes podem ser utilizadas para monitoramento de concorrentes, avaliação de tecnologia, gerenciamento de portfólio de P&D, identificação e avaliação de fontes potenciais para a geração externa de conhecimento tecnológico, principalmente por fusões e aquisições, e gestão de recursos humanos (ERNST, Holger, 2003). A previsão tecnológica feita com dados de patentes é importante para o planejamento estratégico de P&D, pois, essas informações podem ser usadas para tirar conclusões antecipadas sobre mudanças futuras no ambiente competitivo (ERNST, Holger, 2001).

O ciclo de vida tecnológico de cada um dos sistemas de *powertrain* pode ajudar os fabricantes de automóveis, pesquisadores e políticos a compreender as tendências de desenvolvimento dos sistemas de *powertrain*, para questões de desenvolvimento estratégico. Com o ciclo de vida tecnológico é possível conhecer o momento da introdução dos sistemas de *powertrain* no mercado, sua maturidade, até uma possível decadência, ou seja, substituição por outra tecnologia. Então essa pesquisa mostra-se relevante, pois apresenta o nível de maturidade de cada um dos sistemas de *powertrain*. Ainda pode facilitar a compreensão de como a indústria está se comportando e em qual tecnologia está dedicando-se maiores esforços de P&D. Com a velocidade de difusão da tecnologia pode-se ainda compreender qual tecnologia possui maior potencial de comercialização em um dado momento. Também com a taxa de crescimento da tecnologia é possível monitorar o crescimento dos sistemas de *powertrain* ao longo dos anos.

Com o levantamento e discussão dos fatores críticos de sucesso para os veículos elétricos também é possível verificar quais fatores influenciam a difusão destas tecnologias e que possivelmente podem causar alterações no ciclo de vida tecnológico. Visto que o ciclo de vida tecnológico pode ser alterado por regulações, investimentos em P&D, condições econômicas do país ou região, guerras, entre outros.

No âmbito acadêmico científico, em pesquisas nas bases de dados Scopus e Web of Science verificou-se a existência de trabalhos semelhantes ao desenvolvido. Definiram-se como palavras-chave para essa busca: “*Internal combustion engine*”, “*electric vehicle*”, “*technology life cycle*”, “*patent analysis*”, “” e “*S-curve or logistic model*”. As palavras-chave foram então cruzadas, com buscas no título, resumo e palavras-chave. No Quadro 1 é possível verificar os resultados das buscas. As buscas foram realizadas no dia 9 de janeiro de 2023. Os resultados dos cruzamentos (6 ao 11), do Quadro 1, foram explorados visando encontrar estudos semelhantes. Os principais estudos encontrados são apresentados na revisão de literatura. A maioria dos estudos com dados de patentes analisou a concorrência entre tecnologias de baixa emissão ou respostas estratégicas à concorrência. No entanto, pouca literatura se propôs a prever as tendências tecnológicas dos sistemas de *powertrain*. Portanto com esta pesquisa procurou-se aprofundar e trazer maior clareza nesta área de pesquisa.

Quadro 1- Buscas realizadas nas bases de dados Scopus e Web of Science

| <b>Pesquisa</b> | <b>Termos ou cruzamentos</b>  | <b>Web of science</b> | <b>Scopus</b> |
|-----------------|---|-----------------------|---------------|
| 1               | “ <i>Internal combustion engine</i> ”   | 8727                  | 40050         |
| 2               | “ <i>Electric vehicle</i> ”   | 34508                 | 96055         |
| 3               | “ <i>Technology life cycle</i> ”  | 273                   | 523           |
| 4               | “ <i>Patent analysis</i> ”  | 1323                  | 2027          |
| 5               | “ <i>S-curve</i> ” or “ <i>logistic model</i> ”   | 12697                 | 152460        |
| 6               | “ <i>Internal combustion engine</i> ” + “ <i>technology life cycle</i> ”                | 0                     | 1             |
| 7               | “ <i>Internal combustion engine</i> ” + “ <i>patent analysis</i> ”                      | 9                     | 11            |
| 8               | “ <i>Electric vehicle</i> ” + “ <i>technology life cycle</i> ”                          | 0                     | 6             |
| 9               | “ <i>Electric vehicle</i> ” + “ <i>patent analysis</i> ”                                | 18                    | 50            |
| 10              | “ <i>S-curve</i> ” or “ <i>logistic model</i> ” + “ <i>electric vehicle</i> ”           | 18                    | 50            |
| 11              | “ <i>S-curve</i> ” or “ <i>logistic model</i> ” + “ <i>internal combustion engine</i> ” | 5                     | 8             |

Fonte: Autor.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção abordam-se os conceitos que são fundamentais para o embasamento teórico e desenvolvimento da pesquisa. Conforme o objetivo principal proposto mostrou-se fundamental revisar as tecnologias de veículos com motor de combustão interna (2.1) e dos veículos elétricos (2.2). Também são discutidas as emissões de gases causadores do efeito estufa (2.3), que é o objetivo da introdução dos veículos elétricos.

Posteriormente, apresenta-se uma revisão acerca de análises de patentes (2.4) e ciclo de vida da tecnologia (2.5). Na seção 2.5 apresenta-se o modelo logístico também e o ritmo de desenvolvimento da tecnologia (2.5.1), velocidade de difusão da tecnologia (2.5.2), taxa de crescimento da tecnologia (2.5.3) e inovações disruptivas e incrementais (2.5.4). Por último, no item 2.6, discute-se os fatores críticos de sucesso.

### 2.1 VEÍCULO COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Os veículos com motores de combustão interna (*Internal combustion engine vehicle- ICEV*) caracterizam-se por apresentar um motor de combustão interna (MCI), de ignição por centelha ou por compressão, e tanque para armazenamento de um combustível líquido ou gasoso. Uma das diferenças mecânicas entre o motor Ciclo Diesel e Ciclo Otto, é a maior robustez do motor Diesel (BRUNETTI, 2012). No motor Ciclo Diesel a combustão tem início por autoignição do combustível pelo aumento da pressão e temperatura e no motor Ciclo Otto a ignição do combustível se dá por uma centelha fornecida pelo sistema elétrico. A razão de compressão é bem mais elevada em um motor ciclo Diesel, para promover a ignição espontânea (autoignição) do combustível injetado. Uma diferença é a introdução do combustível no ar (preparação de mistura), que nos motores Ciclo Otto é feita previamente à ignição, enquanto nos motores ciclo Diesel o combustível é injetado ao final do curso de compressão, no qual apenas o ar é comprimido, o que eleva sua temperatura e promove a ignição do combustível que está sendo injetado (GANESAN, 2012).

Conforme o ciclo de trabalho os MCIs podem ser classificados com ciclo de quatro tempos ou de dois tempos (HEYWOOD, 2018). Hoje, a maioria dos MCIs em veículos está operando em um ciclo de quatro tempos com ignição por faísca ou ignição por compressão (DAHAM; WEI, H.; PAN, J., 2022) pois motores dois

tempos possuem limitações técnicas para atender os limites de emissões de gases poluentes.

Os veículos com MCIs são movidos principalmente por combustíveis fósseis, como a gasolina, diesel e gás natural (FAYYAZBAKHSH *et al.*, 2022; ILHAK *et al.*, 2019). Contudo, inúmeros combustíveis renováveis podem ser usados nos veículos com MCI, como etanol, biodiesel, biometano, hidrogênio verde, entre outros. No Brasil, em 2019, 22,5 bilhões de litros de etanol hidratado foram consumidos, 10,3 bilhões de litros de etanol anidro, 27,86 bilhões de litros de gasolina aditivada, 38,16 bilhões de litros de gasolina comum e 53 bilhões de litros de óleo diesel (OBSERVATÓRIO DA CANA, 2020). Nos Estados Unidos, em comparação, em 2019, foram consumidos 54,3 bilhões de litros de etanol anidro (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2020a).

Os *ICEVs* possuem como vantagem o seu menor valor de compra, se comparado aos demais sistemas de *powertrain*, grande diversidade de modelos de veículos, maior nível de maturidade tecnológica e elevada autonomia. Sua principal desvantagem é: com combustíveis de origem fóssil apresentam geralmente maiores emissões de GEE se comparado aos sistemas de *powertrain* elétricos (WU, Ya; ZHANG, Li, 2017).

Na seção 2.2.1 são apresentadas as principais tendências de melhoramento e desenvolvimento dos MCIs.

### **2.1.1 Tendências para melhoramento dos MCIs**

Espera-se que cerca de 85-90% da energia para o transporte venha de combustíveis líquidos convencionais alimentados em MCIs até 2040 (LEACH *et al.*, 2020). Portanto, o refinamento e a adaptação contínuos dos MCIs são necessários para reduzir ainda mais as emissões de GEE e o consumo de combustível, enquanto são mantidos ou melhorados o desempenho e a potência. Os principais desafios para as próximas décadas do MCI provavelmente se concentrarão em quatro pontos: controle de emissões e legislação; novos combustíveis e composições; combustão aprimorada e conceitos avançados de economia de energia (NOH; NO, 2017; TAYLOR, 2008).

As principais causas das emissões dependem do projeto do motor, parâmetros operacionais, pós-tratamento, tipos de combustível, aditivos do



combustível e lubrificante (AMAYA; TORRES; ACOSTA, 2016). Uma das principais tecnologias para sua redução é o *downsizing* do motor combinado com a tecnologia de turbocompressores (HEYWOOD *et al.*, 2015; RICARDO; APOSTOLOS; YANG, M. Y., 2011). A redução do tamanho do motor pode resultar em menor consumo de combustível, menores emissões de escapamento e redução dos custos do motor (SROKA, 2012; XIAN MIAN; AZIMOV, 2017). Uma técnica que tem atraído atenção considerável para mitigar *knock* no MCI é a injeção de água (VAUDREY, 2017; ZHU, Sipeng *et al.*, 2019).

Alguns conceitos avançados de combustão também ajudam a reduzir as emissões em MCIs. As estratégias de combustão em baixa temperatura produzem emissões quase nulas de NO<sub>x</sub> e PM (material particulado) (MURUGESA PANDIAN; ANAND, 2018). MCIs com combustão de baixa temperatura, incluindo ignição por compressão de carga homogênea (*HCCI- homogeneous charge compression ignition*) e ignição por compressão controlada por reatividade (*RCCI- Reactivity controlled compression ignition*), ignição por compressão de carga pré-misturada (*PCCI- premixed-charge compression ignition*), prometem melhorar o consumo de combustível do sistema de *powertrain* e reduzir as emissões do motor (SOLOUK *et al.*, 2017). Saxena e Bedoya (2013) realizaram uma revisão dos fenômenos fundamentais que regem a operação do *HCCI*, com ênfase nas operações de alta carga. Os autores concluíram que, apesar de melhorias substanciais na combustão de baixa temperatura nos últimos anos, ainda existem muitos desafios para pesquisas adicionais. A combustão de *HCCI* é capaz de tirar proveito das várias propriedades dos biocombustíveis, uma vez que neste modo de combustão a ignição não é externamente comandada, mas depende da compressão e subsequente autoignição de uma mistura ar-combustível (KOMNINOS; RAKOPOULOS, 2012). Recentemente a Mazda introduziu no mercado um veículo com motor SPCCI (*spark controlled compression ignition*) que utiliza combustão de ignição por compressão de queima pobre com gasolina, combustão local com ignição por faísca (para aumentar a temperatura no cilindro e propiciar a auto-ignição) e uma alta taxa de compressão (AGARWAL, A. K. *et al.*, 2022; MAZDA, 2023).

Novos combustíveis e composições (não necessariamente renováveis, mas com menor impacto ambiental) também são e continuarão sendo um desafio nas próximas décadas para uso no MCI. Alguns combustíveis alternativos potenciais

para motores de ignição por centelha incluem gás natural comprimido, gás liquefeito de petróleo, hidrogênio (H<sub>2</sub>) e álcoois (metanol e etanol); enquanto para motores de ignição por compressão, eles incluem biodiesel, éter di-metílico (BAE, Choongsik; KIM, Jaeheun, 2017) e diesel verde (ALSULTAN *et al.*, 2021). Além disso, álcoois superiores como butanol, pentanol, hexanol, heptanol, octanol, etc, têm sido considerados recentemente na literatura como alternativas para motores de ignição por compressão com bom potencial (EL-SEESY *et al.*, 2021; NOUR; ATTIA; NADA, 2019).

Niculescu, Clenci e Iorga-Siman (2019) revisaram alguns resultados de estudos, sobre biodiesel, produção de bioetanol e biometanol, suas características físicas e propriedades químicas, incluindo os efeitos do uso de misturas diesel-biodiesel-álcool em motores de ignição por compressão. Os autores concluíram que os impactos dos biocombustíveis alternativos podem estar atrelados: ao aumento do uso de combustíveis renováveis, pela busca da sustentabilidade energética, reduzindo assim as preocupações com a energia limitada de combustíveis fósseis, melhorando o desempenho energético e ecológico do MCI através das melhores propriedades físico-químicas desses combustíveis alternativos em comparação com os combustíveis fósseis. Larsson, Stenlaas e Erlandsson (2019) investigaram o efeito de biocombustíveis oxigenados na combustão de motores de ignição por centelha através de uma compilação gráfica de 88 estudos experimentais utilizados para avaliar as tendências na adição de diferentes biocombustíveis à gasolina. A conclusão geral é que há potencial para melhorar a eficiência e economia de combustível para biocombustíveis e misturas de biocombustíveis já nos projetos de motores atuais, mas ainda mais se os motores futuros forem otimizados.

Outros avanços tecnológicos na literatura incluem: injeção direta de combustível, tempo de válvula variável, turbocompressores, frenagem regenerativa e funções *start-stop* automáticas (KARVONEN *et al.*, 2016), injeção de ebulição rápida (SUN *et al.*, 2020), ignição de alta energia (YE *et al.*, 2020), operação de ignição por faísca com injeção direta *lean burn* (SUN *et al.*, 2021) e combinação entre todas as diferentes tecnologias para otimizar a operação do motor. O desenvolvimento de MCIs mais eficientes em sistemas híbridos e com extensores de alcance, que permitem que o motor funcione em uma faixa limitada de velocidade-carga, também seriam úteis (REITZ *et al.*, 2019).

Leach *et al.*, (2020) discutiram os princípios básicos que regem a eficiência do motor e as tecnologias para controlar as emissões do escapamento. Os autores concluíram que a curto e médio prazo as principais tecnologias que poderiam ajudar a melhorar a eficiência e reduzir o consumo de combustível seriam: recirculação dos gases da exaustão (*EGR- exhaust gas recirculation*) resfriados, coletores de escapamento integrados, comando de válvulas variáveis, turbocompressores de geometria variável, desativação de cilindro, taxa de compressão variável, sistema de combustão com pré-câmara e injeção de água (na porta de entrada ou diretamente no cilindro). De médio a longo prazo: ignição por compressão a gasolina, *RCCI*, octanagem sob demanda, tecnologias de ignição por compressão de queima pobre, hibridização, entre outras.

Todos esses avanços tecnológicos potenciais que visam aumentar o desempenho e reduzir as emissões são importantes para continuar a estender a vida útil do MCI. Isso se torna ainda mais importante em um cenário competitivo em que a indústria automotiva se encontra em uma posição em que várias tecnologias alternativas de sistema de trem de força estão desafiando a lógica de *design* dominante do MCI (SICK *et al.*, 2016).

### **2.1.2 Combustíveis alternativos**

Nesta seção os principais combustíveis alternativos são apresentados e discutidos. A utilização de tais alternativas energéticas pode ser uma opção para o prolongamento do ciclo de vida do MCI e redução das emissões de GEE.

#### **2.1.2.1 Etanol**

O etanol pode ser produzido através da cana-de-açúcar, milho, beterraba, trigo, arroz, sorgo, etc. No Brasil o etanol é produzido principalmente através da cana-de-açúcar, enquanto nos Estados Unidos da América, a principal fonte é o milho. A usina típica de produção de etanol, a partir da cana-de-açúcar, possui uma seção inicial comum à destilaria de etanol e à usina de açúcar, composta pelos seguintes processos: recepção da cana, preparo da cana e extração do caldo (SOUZA DIAS, DE *et al.*, 2015). Os próximos passos para a produção do etanol são: tratamento do suco, concentração do suco, fermentação, destilação e desidratação do etanol. Para ser usado em mistura com a gasolina em MCIs, o etanol deve ser

concentrado a 99,3% em massa, no mínimo (SOUZA DIAS, DE *et al.*, 2015). Pois, dessa forma, com reduzida proporção de água, os dois combustíveis se misturam.

O Brasil conta atualmente com 18 usinas de produção de etanol a partir de milho, em operação, e mais 9 usinas estão em fase de construção (CANAL RURAL, 2023). O Brasil possui aproximadamente 360 usinas de produção de etanol, que produzem o biocombustível a partir da cana-de-açúcar e do milho (UNICA, 2022).

O etanol ajuda a fortalecer a segurança nacional energética e ajuda a criar empregos nas áreas rurais. O dióxido de carbono liberado por um veículo quando o etanol é queimado é compensado pelo dióxido de carbono capturado quando as safras da matéria-prima são cultivadas para produzir o etanol (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2021a). Outras vantagens do etanol combustível incluem índice de octanas mais alto do que a gasolina e alto calor latente de vaporização, que possibilitam maior potência e eficiência.

Os dois principais países consumidores de etanol são os Estados Unidos e o Brasil. Desde 1931 a gasolina vendida em todos os postos brasileiros é obrigatoriamente misturada com etanol de cana-de-açúcar (HORTA NOGUEIRA; CAPAZ, 2015). O Decreto 19.717 de 20 de fevereiro de 1931 obrigou os importadores de gasolina a misturar 5% do álcool ao combustível fóssil no Brasil (SOUZA DIAS, DE, 2012). Em 1975, foi lançado o Programa Nacional do Álcool (Proálcool), cujo objetivo maior era a redução da dependência nacional em relação ao petróleo importado (LEITE; BARBOSA CORTEZ, 2008). Em 2003, os carros *flex-fuel* foram lançados e tiveram boa aceitação pelos consumidores no Brasil (HORTA NOGUEIRA; CAPAZ, 2015). No Brasil, atualmente, o teor obrigatório de etanol na gasolina é de 27% em volume (MME, 2022a).

Ainda, no Brasil, utiliza-se o etanol hidratado, tendo em sua composição entre 94,5 e 96% de etanol em volume, e o restante de água. Em 2022, no Brasil, foram consumidos 15,53 bilhões de litros de etanol hidratado, contra 16,79 bilhões de litros em 2021 (NOVACANA, 2023). Contudo, na maioria dos estados brasileiros, economicamente o etanol hidratado torna-se mais caro para o consumidor, comparado à gasolina. Conforme acompanhamento de preços da ANP, em outubro de 2022, em 1690 postos analisados, o preço médio do etanol hidratado ficou acima de 70% do valor da gasolina em 22 dos 25 estados pesquisados (KUTNEY, 2022). Como o etanol hidratado tem um consumo, em média, 30% maior do que um veículo

similar à gasolina, para ser competitivo o biocombustível precisa custar no máximo até 70% do preço da gasolina.

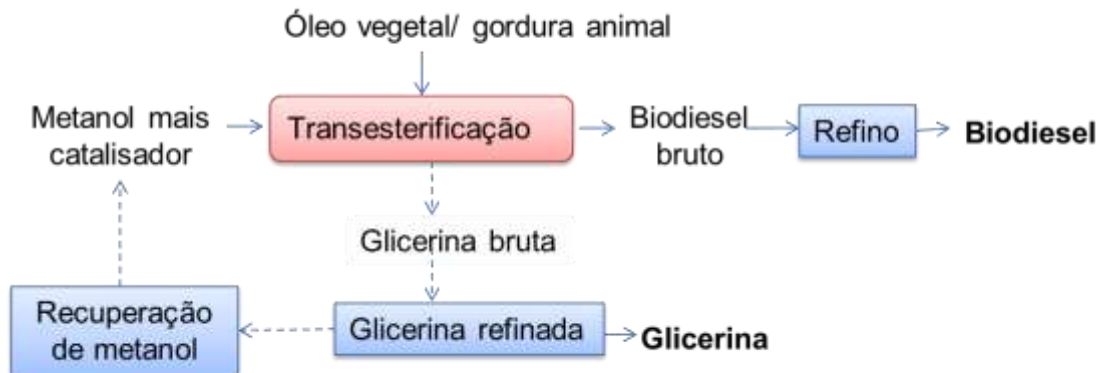
O etanol tem sido utilizado como uma mistura na gasolina, nos Estados Unidos, desde o início dos anos 1980, embora os volumes iniciais fossem bem pequenos (HOEKMAN; BROCH; LIU, X. (Vivian), 2018). O maior consumo de etanol ocorreu após a aprovação da *Clean Air Act Amendments* (CAAA) de 1990, que estimulou o uso na gasolina como um aditivo oxigenado, para controlar as emissões de monóxido de carbono, (CO) no inverno e problemas de ozônio (O<sub>3</sub>) no verão em algumas áreas urbanas. Atualmente qualquer motor movido à gasolina nos Estados Unidos pode usar E10 (10% de etanol e 90% de gasolina em volume), enquanto apenas tipos específicos de veículos podem usar misturas contendo mais de 10% de etanol (EIA, 2020).

Nos Estados Unidos em 2021, existiam 4331 estações de abastecimento com etanol (E85-mistura de 85% de etanol e 15% de gasolina, em volume), em comparação a, 1510 estações com gás natural comprimido, 730 com biodiesel e 50054 elétricas (ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER, 2022a). Já o número de estações de abastecimento com gasolina é de 115370 nos Estados Unidos (STATISTA, 2022).

#### 2.1.2.2 Biodiesel

Quimicamente, o biodiesel é um alcalóide monoéster que pode substituir o óleo diesel (BERGMANN *et al.*, 2013), sendo produzido a partir de óleos vegetais, gorduras animais ou resíduos de óleos vegetais (BERGMANN *et al.*, 2013). O biodiesel é produzido por um processo químico conhecido como transesterificação, pelo qual os triglicerídeos reagem com álcoois, na presença de um catalisador, para produzir ésteres alquílicos de ácidos graxos (Figura 1) (HOEKMAN *et al.*, 2012). Outros processos, menos populares, também podem ser usados para produção de biodiesel, que são: pirólise, microemulsão e diluição (SINGH, S. P.; SINGH, Dipti, 2010).

Figura 1- Rota de produção de biodiesel por transesterificação



Fonte: Adaptado de (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2021b).

Uma das vantagens do biodiesel é que as matérias-primas utilizadas para a produção são potencialmente naturais e renováveis. O biodiesel queima de forma mais limpa do que o diesel de petróleo e é um melhor lubrificante e detergente (HUANG, D.; ZHOU, Haining; LIN, L., 2012). Os principais benefícios ambientais associados à queima de biodiesel são a redução das emissões de partículas, de CO (monóxido de carbono), SO<sub>x</sub> (óxidos de enxofre) e CO<sub>2</sub> (NGUYEN, T.; DO; SABATINI, 2010). O biodiesel tem maior densidade, viscosidade, tensão superficial, velocidade do som e módulo de elasticidade em massa (KEGL, 2011). Isso afeta o abastecimento, o tempo de injeção e a atomização do combustível e, conseqüentemente, as características de emissões (KEGL, 2006). No entanto, o uso de óleos comestíveis para produzir biodiesel pode representar uma competição potencial nas culturas alimentares (DOSHI *et al.*, 2016). Outras dificuldades geradas pelo uso de biodiesel são: corrosão dos componentes do sistema de combustível e a deposição de carbono (HASSAN, M. H.; KALAM, 2013). Essas dificuldades são geradas pela baixa estabilidade oxidativa do biodiesel, ou seja, tendência do combustível reagir com oxigênio (KUMAR, Niraj, 2017).

O biodiesel pode ser usado diretamente para operar motores diesel existentes, sem grandes modificações, ou como uma mistura com óleo diesel (ATADASHI; AROUA; AZIZ, 2011). Com misturas de até 20%, em volume, nenhuma modificação do motor é necessária (ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER, 2023; HASSAN, M. H.; KALAM, 2013).

O biodiesel de óleo vegetal hidrotratado (HVO) ou diesel renovável tem recebido atenção considerável como combustível renovável para aplicações em motores de ignição por compressão (ERSHOV *et al.*, 2023; SINGH, Devendra; SUBRAMANIAN; GARG, M. O., 2018). O HVO pode ser produzido com derivados de matérias-primas abundantes que variam de óleo vegetal, gorduras animais e microalgas. É um combustível parafínico, isento de aromáticos, que reduz o MP e prolonga o intervalo de regeneração do filtro de partículas diesel (BLASIO, DI; IANNIELLO; BEATRICE, 2022). O HVO resolve o principal problema do biodiesel, que é a não existência de duplas ligações entre carbonos nas moléculas orgânicas, o que reduz consideravelmente a oxidação por oxigênio. O HVO é um produto promissor, devido à ausência de limite de concentração máxima do insumo no óleo diesel e maior desempenho (ERSHOV *et al.*, 2023). Contudo, o HVO ainda é limitado por sua cadeia de suprimentos, como ele é produzido por resíduos de colheita, sua produção torna-se limitada. Caso mais terras agrícolas forem utilizadas apenas para produzir HVO, podem-se ter impactos negativos na cadeia de abastecimento de alimentos. Outras desvantagens do HVO são (VOLVO TRUCKS, 2020): se produzido a partir de óleo de palma ou resíduos da produção de óleo de palma, o HVO pode contribuir para o desmatamento e altas emissões de carbono; Embora as emissões de carbono sejam baixas, as emissões de NOx e partículas não são reduzidas; e ainda, nesta fase, o HVO é mais caro que o diesel na maioria dos mercados.

Os principais países produtores de biodiesel em 2019 foram: Indonésia (7,9 bilhões de litros), Estados Unidos (6,5 bilhões de litros), Brasil (5,9 bilhões de litros) e Alemanha (3,8 bilhões de litros) (N. SÖNNICHSEN, 2021a). Já em 2021, a Indonésia produziu 9,5 bilhões de litros, o Brasil 6,9 bilhões de litros, os Estados Unidos 6,2 bilhões de litros e a Alemanha 3,9 bilhões de litros (N. SÖNNICHSEN, 2022a). No Brasil, em abril de 2023 a porcentagem obrigatória de biodiesel misturado no diesel passará de 10% em volume, para 12%, em volume, em 2024 o percentual passará para 13%, em 2025 14% e em 2026 15% (MME, 2023). Nos Estados Unidos as misturas mais comuns são: B2 (2% de biodiesel), B5 (5% de biodiesel) e B20 (20% de biodiesel) (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY; EPA, 2021). O país com maior mistura de biodiesel no diesel é a Indonésia, que em 2020, passou a ser de 30% em volume (CHRISTINA, 2019).

### 2.1.2.3 Biogás e biometano

O biogás se origina de matéria orgânica degradada após passar por um processo de digestão anaeróbia (FERREIRA *et al.*, 2019). A digestão anaeróbia é um processo biológico no qual frações orgânicas são convertidas em metano e dióxido de carbono por diferentes grupos de bactérias e arqueias (RAJENDRAN; MURTHY, 2019). Pode ser obtido a partir de efluentes cloacais, resíduos orgânicos urbanos ou ambientes que costumam apresentar alto teor de matéria orgânica (LÖNNQVIST *et al.*, 2019; TSHEMESE *et al.*, 2023). O biometano produzido a partir do biogás é considerado um biocombustível e pode ser produzido continuamente desde que haja produção contínua de resíduos. Portanto, a energia que gera é denominada renovável.

Para uso do biogás como combustível veicular ou injetado na rede de distribuição de gás natural, etapas adicionais são necessárias, como remoção de oxigênio ( $O_2$ ), nitrogênio ( $N_2$ ) e  $CO_2$ . Este processo de purificação é chamado de *upgrade* e o gás resultante é denominado de biometano.

O uso de biogás de diferentes fontes produzidas ajuda parcialmente a resolver problemas ambientais devido à decomposição de materiais orgânicos necessários para a produção de biogás (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2018). Sua queima, assim como a do gás natural, é considerada benéfica do ponto de vista das emissões de GEE, uma vez que a emissão direta de metano ( $CH_4$ ), seu principal elemento, na atmosfera é cerca de 21 vezes mais prejudicial do que o  $CO_2$  (FERNANDES, G.; MARIANI, 2019; SOUZA, S. N. M. DE *et al.*, 2016).

Como o metano é o único elemento combustível no biogás, outros elementos tornam seu processo de queima menos eficiente (OEHMICHEN *et al.*, 2016; THIEME *et al.*, 2015). O objetivo do processo de enriquecimento ou *upgrading* é aumentar a concentração de metano, obtendo um maior poder calorífico e possibilitando sua equivalência ao gás natural. Como resultado do processo de enriquecimento, os custos de armazenamento diminuem devido ao menor consumo de energia para compressão e redução das estruturas, obtendo a mesma quantidade de energia com menor volume de gás (DALMO *et al.*, 2019).

A ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) determina a composição do biometano para um mínimo de 90% de metano e,



consequentemente, máximo de 10% de gases inertes. Destes, até 3% de CO<sub>2</sub> é considerado aceitável (FIGUEIREDO, 2007; PETRAVIĆ-TOMINAC *et al.*, 2020). A concentração de metano desejada é um parâmetro importante para a técnica de *upgrade* a ser escolhida, assim como as perdas de metano e o consumo de energia (ANP, 2015). Diferentes estudos afirmam que a decisão sobre a técnica de enriquecimento depende das condições da planta; composição do biogás bruto; requisitos ou legislação de biometano; custos e disponibilidade de equipamentos; preço da energia elétrica e vendas de biometano (ANP, 2008; NAQVI; YAN, J., 2015).

Nos últimos anos, no mundo, está crescendo o número de usinas implantadas para produção de biometano. O número de usinas de biometano na Europa aumentou de 483 (em 2018) para 729 unidades (em 2020), sendo que a Alemanha tem a maior quantidade de instalações de biometano (232), seguida da França (131) e do Reino Unido (80) (EBA, 2021). No final do ano de 2021, a marca de 1000 usinas de biometano implantadas foi atingida na Europa, com capacidade de produção de 855000 Nm<sup>3</sup>/h, sendo 90% da produção injetada na rede de gás (SIAPARTNERS, 2022). No Brasil existiam 13 usinas de produção de biometano em 2021 (CIBIOGÁS, 2021). Ainda, no Brasil para os próximos anos são previstas 27 novas plantas de biometano, sendo 15 delas no estado de São Paulo e 6 no Rio Grande do Sul (MANSO, 2022).

A Europa foi o maior produtor mundial de biometano, em 2022, com 1,8 milhão de toneladas métricas por ano (N. SÖNNICHSEN, 2022b). No mundo atualmente a produção de biometano é de 3,5 Mtoe (milhões de toneladas equivalentes de petróleo) (IEA, 2020b). Em 2018, na Europa foram produzidos 2,17 Mtoe de biometano e na América do Norte 0,67 Mtoe (IEA, 2020c). As principais aplicações do biometano produzido no mundo, em 2018, foram para produção de energia elétrica e calor (1,2 Mtoe) e para transporte (0,9 Mtoe) (IEA, 2020d).

#### 2.1.2.4 Hidrogênio

O hidrogênio pode ser considerado um substituto limpo e atraente para os combustíveis de origem fóssil e fomentaria uma economia sustentável orientada para o hidrogênio nos próximos anos (SARATALE, G. D. *et al.*, 2019). O hidrogênio, um combustível limpo de alta energia, é considerado um atraente transportador de

energia do futuro devido à sua alta densidade de energia por massa (MJ/kg), produzindo apenas água pura (SHOW *et al.*, 2012). O hidrogênio é o elemento mais abundante do universo em sua forma iônica, é incolor, insípido, inodoro, leve e não tóxico (AZWAR; HUSSAIN; ABDUL-WAHAB, 2014). Possui um alto conteúdo de energia de 122 MJ/kg, que é 2,75 vezes maior do que os combustíveis de hidrocarbonetos (ARGUN *et al.*, 2008).

No final de 2021, quase 47% da produção global de hidrogênio foi a partir do gás natural, 27% do carvão, 22% do petróleo (como subproduto) e apenas cerca de 4% da eletrólise (IRENA, 2022). Logo, atualmente, a maioria do hidrogênio existente não é renovável. Em 2018, apenas, foram produzidos 60 milhões de toneladas métricas de hidrogênio (N. SÖNNICHSEN, 2021b).

As tecnologias de geração de hidrogênio são frequentemente classificadas com base em cores diferentes, dependendo do processo de produção, do tipo de energia, dos custos e das emissões relacionadas, por exemplo, cinza, azul, turquesa, verde, rosa e amarelo (AJANOVIC, A; SAYER; HAAS, R, 2022). O hidrogênio 'cinza' é produzido comercialmente em grandes quantidades a partir de combustíveis fósseis por uma técnica de reforma de hidrocarbonetos envolvendo vapor e/ou oxigênio; nomeadamente reforma a vapor do metano ou reforma autotérmica do gás natural, e por oxidação parcial de carvão ou óleo pesado (NEWBOROUGH; COOLEY, 2020). O hidrogênio "azul" é gerado através da combinação de hidrogênio cinza e captura e armazenamento de carbono, enquanto o hidrogênio "turquesa" é produzido através da pirólise de um combustível fóssil (NOUSSAN *et al.*, 2021). A eletricidade proveniente de fontes renováveis, como eólica e solar, é usada na eletrólise para produzir hidrogênio "verde", considerado limpo e renovável (WILLIAMS COMPANIES, 2021). O hidrogênio "rosa" também se refere ao hidrogênio gerado por eletrólise alimentada por energia nuclear (DODGSHUN, 2020).

A partir da biomassa, pode-se produzir hidrogênio renovável (biohidrogênio). Materiais lignocelulósicos, como madeira e seus resíduos, alimentos e materiais à base de amido, águas residuais da indústria, águas residuais domésticas e resíduos da indústria, podem ser recursos potenciais para produzir hidrogênio (KAMARAJ; RAMACHANDRAN, K. K.; ARAVIND, 2020). Com a aprovação do marco legal do saneamento básico no Brasil em 2020, foi estabelecido um prazo para o fim dos aterros sanitários, até 2024 (BRAZIL, 2020). Além disso, foram estabelecidas metas

para promover o acesso à água potável, aumentando o tratamento e coleta de esgoto. Esses novos objetivos, indiretamente, são um forte incentivo para o uso de resíduos urbanos para geração de hidrogênio e biogás. Quanto mais estações de tratamento de esgoto e aterros sanitários controlados são implementados, maior a probabilidade de aumentar a transformação de resíduos urbanos em hidrogênio e biogás.

O hidrogênio pode ser produzido por diferentes vias biológicas que podem ser amplamente agrupadas em duas categorias distintas - processos dependentes de luz (fotólise direta ou indireta e fotofermentação) e processos independentes de luz (fermentação escura) (SHOW *et al.*, 2012).

O bioetanol, produzido a partir de recursos de biomassa, é uma matéria-prima ambientalmente sustentável, portanto, um excelente candidato para a produção de hidrogênio em escala industrial por meio do processo de reforma a vapor (VIZCAÍNO *et al.*, 2012). Com o etanol reagindo com vapor de alta temperatura pode-se produzir hidrogênio próximo ao ponto de uso final (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2021c). O bioetanol produzido desta forma (50 vol % de etanol após a separação instantânea) poderia ser transformado em H<sub>2</sub> por reforma a vapor para uso subsequente em células de combustível (CIFUENTES *et al.*, 2015).

A partir da água também é possível produzir hidrogênio, com os métodos de eletrólise, divisão termoquímica da água ou ainda por fotoeletrólise (HOLLADAY *et al.*, 2009). A eletrólise é um processo no qual uma corrente contínua passando por dois eletrodos em uma solução aquosa resulta na quebra das ligações químicas presentes na molécula de água em hidrogênio e oxigênio (KALAMARAS; EFSTATHIOU, 2013). Para realizar a eletrólise da água pode-se usar fontes de energias renováveis, como eólica, fotovoltaica, hidroeletricidade, etc.

O hidrogênio pode ser usado em MCIs ou ainda em células de combustível. Os benefícios do uso de hidrogênio em *ICEVs* são: indústria madura, flexibilidade de combustível dos *ICEVs*, requisitos mais baixos para pureza de hidrogênio em comparação com células de combustível, potencial de emissões ultrabaixas, e o aumento da eficiência de pico e carga parcial em comparação com outros combustíveis e não são dependentes de materiais raros (VERHELST, 2014). As principais dificuldades no uso de hidrogênio em *ICEVs* são: a falta de capacidade de alcançar distâncias de condução comparáveis as dos veículos a base de combustível de origem fóssil e a carência de infraestrutura de reabastecimento de

hidrogênio (HOSSEINI; BUTLER, 2020). O transporte e armazenamento do hidrogênio também são um empecilho, devido a sua baixa densidade volumétrica de energia (SINIGAGLIA *et al.*, 2017). O hidrogênio líquido tem uma densidade de 8 MJ/L, enquanto a gasolina tem uma densidade de 32 MJ/L (HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGIES OFFICE, 2021).

Existe ainda pouca infraestrutura para abastecimento de hidrogênio. Na Europa, o país com mais estações de abastecimento de hidrogênio é a Alemanha, com 105 estações (LOHSE, 2023). No Japão há 166 estações de abastecimento de hidrogênio (GLPAUTOGAS, 2023), a China possui 296 estações (WU, J., 2022), nos Estados Unidos há 107 estações de abastecimento (GLPAUTOGAS, 2023). No estado da Califórnia nos Estados Unidos, existem 55 estações de abastecimento (HYDROGEN FUEL CELL PARTNERSHIP, 2023).

No Brasil, em 2022, foi instituído o Programa Nacional de Hidrogênio, cujo objetivo é fortalecer o mercado e a indústria do hidrogênio como vetor energético (MME, 2022b). O Brasil segue a tendência internacional onde mais de 95% da produção é através da reforma de gás natural, também chamado de hidrogênio cinza (GERMAN-BRAZILIAN ENERGY PARTNERSHIP, 2021). No estado do Ceará, o governo do estado, a Federação das Indústrias do Estado do Ceará, a Universidade Federal do Ceará e o Complexo do Porto do Pecém assinaram um memorando de entendimentos para construção de um *hub* de hidrogênio no Porto do Pecém, com fins de exportação do hidrogênio verde e também utilização no Brasil (GERMAN-BRAZILIAN ENERGY PARTNERSHIP, 2021). *Hubs* são ambientes de inovação aberta, ou seja, que através da colaboração (entre investidores, instituições de ensino, pesquisa e empresas) podem-se gerar parcerias para desenvolvimento de soluções inovadoras.

#### 2.1.2.5 Gás natural

O gás natural é um hidrocarboneto formado pela decomposição de longo prazo da matéria orgânica da fauna e da flora e é composto principalmente por metano. Outros hidrocarbonetos que podem ser encontrados em pequenas quantidades no gás natural são o etano, o propano e o butano. É encontrado no subsolo em reservatórios, seja em bolsas de gás ou preso em um substrato como

areia, ou petróleo. É extraído como um derivado do petróleo ou especificamente como gás natural bruto.

Pode ser classificado em duas categorias: associado e não associado (MUÑOZ; GOMES; HOLLANDA, 2014). O tipo associado é dissolvido em petróleo ou na forma de uma camada de gás dentro do reservatório geológico. Nesse caso, a produção do óleo é favorecida, pois, o gás é utilizado para regular a pressão do reservatório. O gás não associado é isento de óleo e água no reservatório e é encontrado principalmente na camada rochosa. O gás natural produzido no Brasil está associado principalmente ao petróleo (EPE; MME, 2014).

Veículos que utilizam gás natural são conhecidos como veículos a Gás Natural Veicular (GNV) e usam Gás Natural Comprimido (GNC) em pressões tipicamente em torno de 25 MPa (NAVAS-ANGUITA; GARCÍA-GUSANO; IRIBARREN, 2019). O GNV permanece no estado gasoso em todas as etapas desse processo de pressurização e é a principal forma de aproveitamento no Brasil. No entanto, o gás natural também pode ser transportado como Gás Natural Liquefeito (GNL) e regaseificado posteriormente. No GNL, o metano é geralmente resfriado a  $-180\text{ }^{\circ}\text{C}$  para liquefação, o que requer tanques criogênicos isolados a vácuo para mantê-lo na forma líquida (COMPAIR, 2018). O GNV de origem interna ou externa comercializado no Brasil deve estar em conformidade com a ANP (ANP, 2008). A concentração mínima de metano por lei é de 68% para a região norte e 85% para o resto do país. Para usar o GNV em veículos, é importante limitar as concentrações de  $\text{CO}_2$  e outras impurezas para aumentar o teor de metano, portanto, o poder calorífico inferior (GUSTAFSSON *et al.*, 2020).

O metano é o alcano mais simples com apenas um átomo de carbono, o que o torna um combustível de queima limpa devido à ausência de ligações duplas de carbono. Sua queima é limpa, pois, ocorre à combustão completa, resultando em baixas emissões de material particulado e baixa toxicidade dos gases de escape brutos. No entanto, altos níveis de emissões de  $\text{NO}_x$  podem ser obtidos dependendo do tipo de combustão e do pós-tratamento dos gases de escape empregados (KHAN, Muhammad Imran *et al.*, 2016). Outro problema relacionado à utilização do metano é o *methane slip* (ou emissões de metano não oxidado). O *metahne slip* ocorre quando o metano entra no escapamento do motor sem ser queimado (SHARAFIAN; BLOMERUS; MÉRIDA, 2019). O *methane slip* geralmente ocorre devido a baixas temperaturas no catalisador de três vias em carga mais baixa e ciclos

de direção transitórios, como dirigir em áreas metropolitanas (HAGOS; AHLGREN, 2018). O desempenho do motor também depende muito do modo de injeção de combustível (injeção indireta no coletor de admissão ou injeção direta de combustível no cilindro). Principalmente devido à queda na eficiência volumétrica em comparação aos combustíveis líquidos, ocorre uma perda de 15-20% na potência do motor (LEAL, F. I.; REGO; OLIVEIRA RIBEIRO, DE, 2019; MUÑOZ; GOMES; HOLLANDA, 2014).

No Brasil em 2020 produziu-se 127,4 Mm<sup>3</sup>/dia de gás natural, um aumento de 52,71% em relação a 2010 (MME, 2021). Em 2019, somente 9% do total de gás natural produzido foi usado como combustível em veículos no Brasil (WARTH; LINDNER, 2019). Os maiores produtores mundiais de gás natural são os Estados Unidos e a Rússia.

## 2.2 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Nesta seção são apresentados os principais tipos de veículos elétricos, que são: veículo elétrico híbrido (2.2.1), veículo elétrico a bateria (2.2.2) e veículo a célula de combustível (2.2.3).

### 2.2.1 Veículo elétrico híbrido (*Hybrid electric vehicle*)

O veículo elétrico híbrido (*Hybrid electric vehicle- HEV*) usa o MCI e o motor elétrico como fontes de energia para mover o veículo (TIE; TAN, Chee Wei, 2013). Os *HEVs* surgiram com o propósito de aliar as qualidades dos *ICEVs*, autonomia e densidade de potência, e as vantagens dos *BEVs*, alto torque e eficiência em baixas velocidades (CABEZUELO *et al.*, 2017).

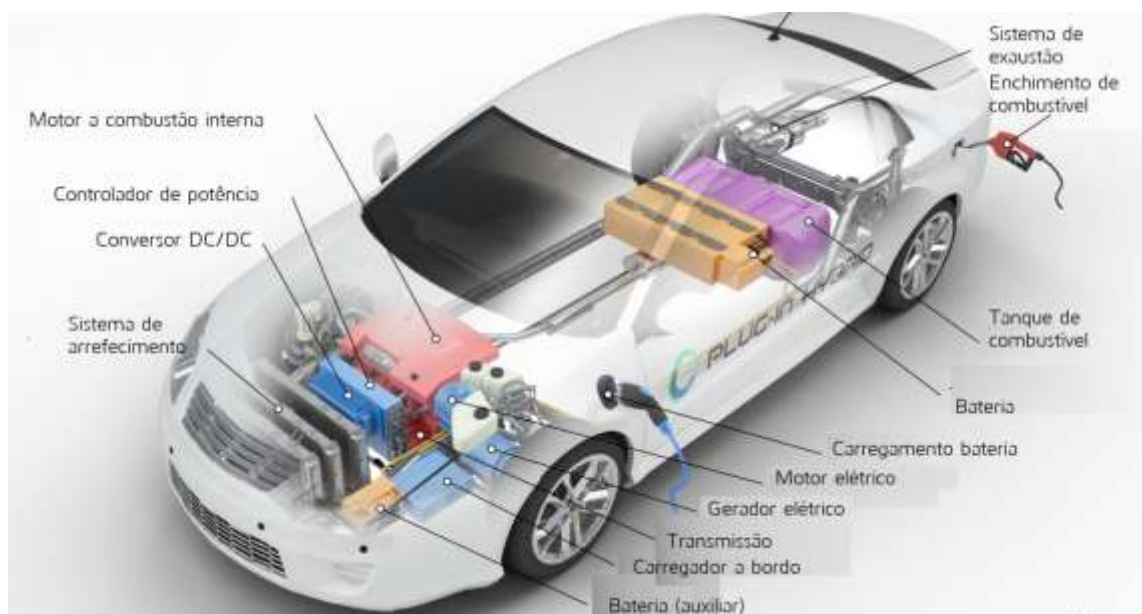
Os veículos híbridos podem ser classificados conforme o seu grau de hibridização, em: *micro hybrid*, *mild hybrid*, *full hybrid* e *Plug-in hybrid (PHEV)*. *Micro HEVs* têm um grau de hibridização inferior a 5% (CARDOSO; FAEL; ESPÍRITO-SANTO, 2020). O motor elétrico, na forma de um pequeno motor de partida/gerador integrado, é usado para desligar o motor quando o veículo para completamente e ligá-lo quando o motorista solta o pedal do freio. Uma vez em movimento, o veículo é movido pelo MCI e o motor elétrico não fornece torque adicional ao veículo, à

eficiência de combustível aumenta em torno de 5 a 10% com o uso de um sistema de micro *HEVs* (CARDOSO; FAEL; ESPÍRITO-SANTO, 2020).

Os *Mild-HEVs* são definidos como os veículos que possuem um gerador de partida integrado e uma bateria de 48 V mais potente que pode auxiliar na propulsão do veículo. Em comparação com outras formas de veículos elétricos híbridos, os *mild-HEVs* são caracterizados por uma estrutura de sistema simples, modificação mínima no chassi do veículo, baixo custo, ciclo de produção curto e produção em massa conveniente (LV *et al.*, 2022). Os *full-HEVs* têm frenagem regenerativa e uma bateria maior que pode ser usada para propulsão não assistida de curto alcance (OU, S.; GOHLKE; LIN, Z., 2020). Esses veículos custam mais do que os *mild-HEVs*, mas oferecem melhores benefícios de economia de combustível.

Os *PHEVs* são uma combinação de veículos a gasolina e elétricos. Portanto, possui uma bateria, um motor elétrico, um tanque de combustível e um MCI (Figura 2) (EPA, 2021). A diferença é que o *PHEV* pode ser carregado externamente através de estações de carregamento, enquanto o *HEV* carrega sua bateria internamente com a energia do MCI (SINGH, A.; LETHA, 2019). Os *PHEVs* são carregados a partir de uma tomada elétrica e geralmente possuem baterias de maior capacidade do que os *HEVs* (MALIK; DINCER; ROSEN, 2016).

Figura 2- Veículo híbrido elétrico *plug-in*

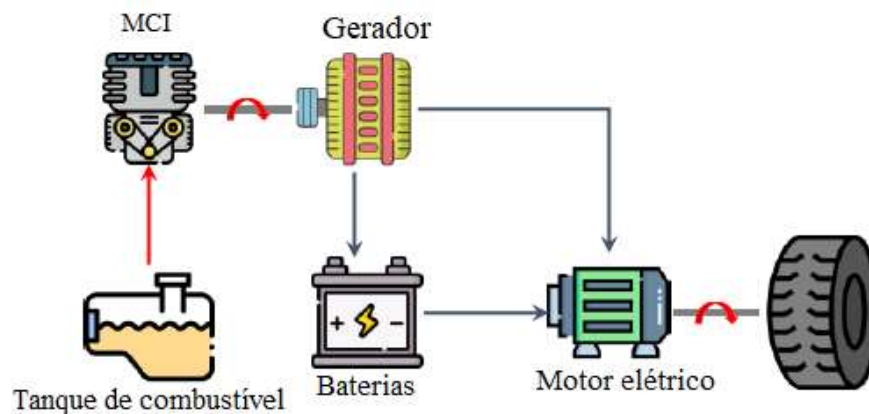


Fonte: Adaptado de (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2020b).

Os sistemas de *powertrain* dos *HEVs* podem ser divididos em quatro tipos: paralelo, série, *power-split* e *multi-mode* (ZHUANG, W. *et al.*, 2020). Os *HEVs* em série possuem como vantagens o baixo custo, velocidade ideal do motor e como desvantagem baixa utilização de energia, enquanto nos híbridos em paralelo, a vantagem é a baixa perda de conversão de energia e como desvantagem o alto consumo de combustível (WANG, Jiajia *et al.*, 2020).

Nos veículos híbridos elétricos em série, o motor a combustão interna é utilizado para geração de energia elétrica, que é armazenada na bateria, e posteriormente usada no motor elétrico (Figura 3).

Figura 3- Veículo híbrido elétrico em série

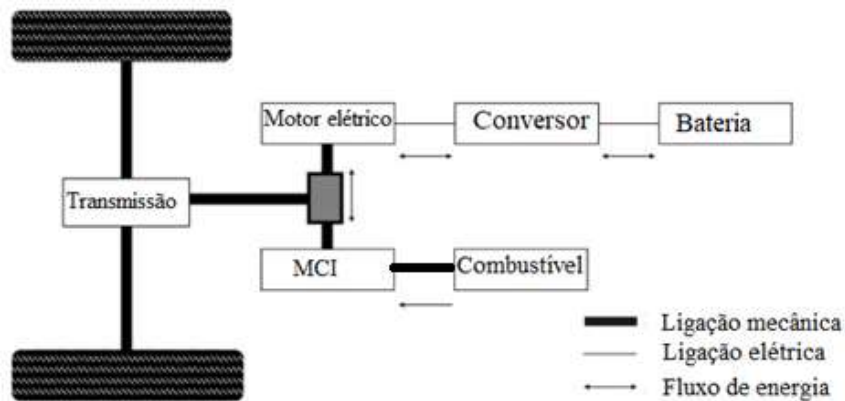


Fonte: Adaptado de (LEÓN *et al.*, 2021).

No *HEV* em paralelo, pode-se contar com os dois motores para então tracionar as rodas (Figura 4). Em *HEVs* paralelos, a potência de tração pode ser fornecida apenas pelo MCI ou pelo motor elétrico, ou em conjunto por ambas as fontes (SINGH, K. V.; BANSAL; SINGH, Dheerendra, 2019). O sistema de controle dos *HEVs* paralelos consegue gerenciar o *status* de ligar/desligar do motor dependendo da demanda de energia, armazenamento de energia (pacote de bateria) e condições de tráfego (AL-SAMARI, 2017).



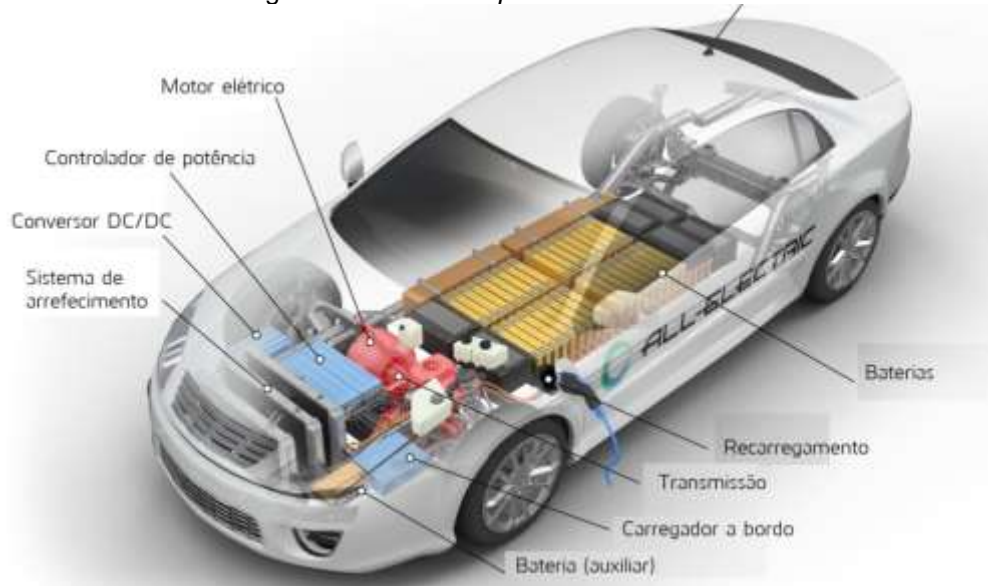
Figura 4- Veículo híbrido elétrico em paralelo



Fonte: Adaptado de (VERMA, S. *et al.*, 2021).

### 2.2.2 Veículo elétrico a bateria (*Battery electric vehicle*)

Os *BEVs* (*Battery electric vehicles*) são veículos elétricos a bateria movidos apenas com eletricidade (HEDEGAARD *et al.*, 2012). Os *BEVs* possuem energia armazenada em suas baterias, e sua autonomia depende diretamente da capacidade da bateria (UN-NOOR *et al.*, 2017). O *BEV* transfere energia da bateria a um motor elétrico através de um inversor de frequência, Figura 5, e o motor é mais frequentemente conectado ao par de rodas motrizes dianteira ou traseira através de uma única relação de transmissão e um diferencial (GRUNDITZ; THIRINGER, 2016).

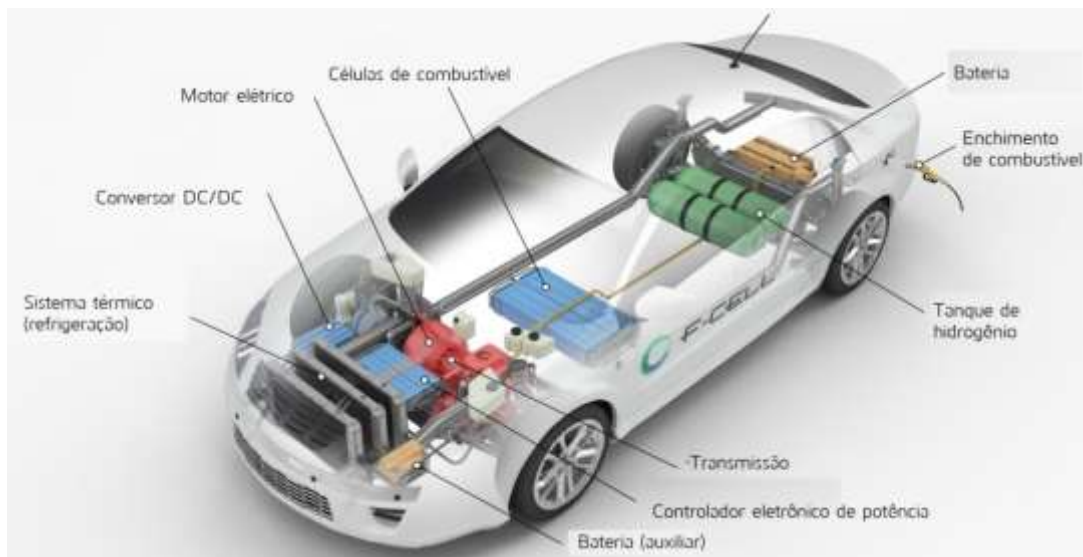
Figura 5- Sistema de *powertrain* dos *BEVs*

Fonte: Adaptado de (ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER, 2022b).

Os principais tipos de baterias usadas nos veículos elétricos são de íons de lítio com óxido de lítio-cobalto, especificamente, óxido de lítio-níquel-manganês-cobalto (NMC) e óxido de lítio-níquel-cobalto-alumínio (NCA), com um mercado crescente de participação de quase 96% (SALGADO *et al.*, 2021; XU, Chengjian *et al.*, 2022). Um dos benefícios associados aos *BEVs* é que possuem muito menos ruído operacional do que os veículos com MCI (PELLETIER; JABALI; LAPORTE, 2016). Em alguns modelos de *BEVs*, as principais limitações dos *BEVs* são a sua baixa autonomia e os longos tempos de carregamento da bateria (KHAYATI; KANG, 2019). Porém, alguns modelos de *BEVs* já estão atingindo autonomies e tempo de carregamentos competitivos. Os *BEVs* também possuem um custo de aquisição elevado se comparados aos *ICEVs* e também uma taxa de depreciação elevada. Outros problemas que estes enfrentam são a falta de infraestrutura para recarga da bateria e a baixa diversidade de modelos de veículos.

### **2.2.3 Veículo elétrico a célula de combustível (*Fuel cell electric vehicle*)**

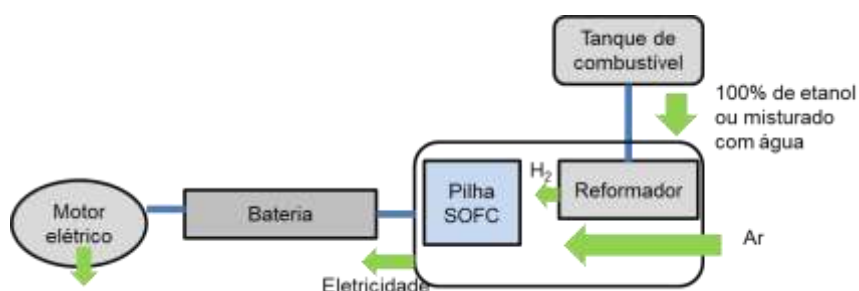
Os veículos elétricos a célula de combustível (*FCEV- fuel cell electric vehicle*) são compostos basicamente por tanque de armazenamento de combustível, célula de combustível, baterias e motor elétrico (Figura 6). Embora os *FCEVs* sejam, na verdade veículos elétricos, a entrada de energia para a propulsão elétrica provém do combustível, armazenado em tanques a bordo, através da célula de combustível que, por processos eletroquímicos, gera eletricidade (APOSTOLOU; XYDIS, 2019). Em uma célula de combustível a hidrogênio, este se combina com oxigênio para gerar eletricidade, calor e água (FCHEA, 2021). O principal tipo de célula de combustível usada para fins de transporte é a célula de combustível de membrana de troca de prótons (*PEM- proton exchange membrane*) (U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, 2021d). A eletricidade gerada na célula de combustível é utilizada para propulsão em um motor elétrico. A célula *PEM* tem como desvantagem precisar de hidrogênio ultrapuro (PEI *et al.*, 2020), não sendo possível usar neste tipo o hidrogênio proveniente de reforma de etanol.

Figura 6- Sistema de *powertrain* dos FCEVs

Fonte: Adaptado de (ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER, 2022b).

Outra configuração possível para o FCEV é através de um sistema de célula de combustível que usa bioetanol (Figura 7). Um reformador produz hidrogênio a partir do bioetanol, e uma pilha a combustível de óxido sólido (SOFC- *Solid Oxide Fuel Cell*) gera eletricidade a partir de uma reação entre o hidrogênio e o oxigênio (ar) (NISSAN MOTOR CORPORATION, 2021). A eletricidade gerada é armazenada na bateria, que fornece eletricidade a um motor elétrico para conduzir o veículo. O calor gerado durante a geração de energia é reaproveitado na geração de hidrogênio. Contudo as células SOFC apresentam algumas limitações, que são: necessidade de transportar o reformador *onboard*, dificuldade em manter a temperatura ideal do reformador (FU *et al.*, 2023) e possível ataque do etanol a componentes do sistema.

Figura 7- Veículo a célula de combustível de etanol



Fonte: Adaptado de (NISSAN MOTOR CORPORATION, 2021).

As principais vantagens dos *FCEVs* são: emitem apenas água no tubo de escape durante a operação; seu alcance de cruzeiro e intervalo de reabastecimento são iguais a dos veículos a gasolina existente e seus acionamentos pelo motor permitem uma operação impressionantemente dinâmica e silenciosa (KO; SHIN, 2023; NONOBE, 2017). Alguns *FCEVs* têm um alcance acima de 300 milhas (483 km) e podem ser reabastecidos em menos de 10 minutos em uma estação de reabastecimento de hidrogênio (MANOHARAN *et al.*, 2019). No entanto as principais dificuldades continuam sendo o custo e a durabilidade das células de combustível de membrana de troca de prótons (BORUP *et al.*, 2020; POLLET; KOCHA; STAFFELL, 2019). A dissolução e sinterização de partículas de platina, corrosão do suporte de carbono, afinamento da membrana e corrosão da placa bipolar são a maioria dos fatores que podem encurtar a vida útil das células de combustível *PEM* (NGUYEN, H. L. *et al.*, 2021). Ambientes e condições operacionais também podem afetar a eficiência e a longevidade, impurezas nas fontes de combustível e oxidante, temperaturas abaixo de zero, falta de combustível e operações transitórias durante a partida e o desligamento são, de fato, modos operacionais críticos que afetam a durabilidade (NGUYEN, H. L. *et al.*, 2021).

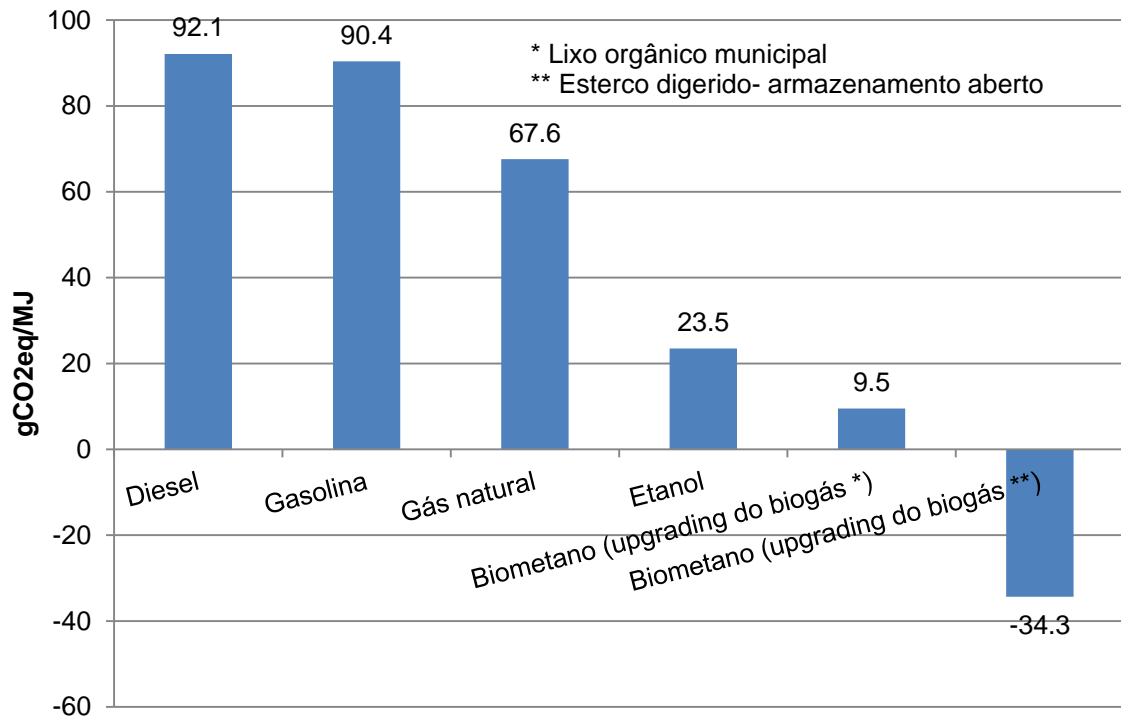
O hidrogênio utilizado no veículo é usualmente armazenado sobre compressão em tanques de até 70 Mpa (HYUNDAI MOTOR GROUP, 2021). As principais dificuldades no armazenamento por compressão são a baixa densidade volumétrica e o sistema de segurança que é necessário. Como o hidrogênio armazenado por compressão possui uma baixa densidade volumétrica, logo, um volume considerável do veículo acaba sendo usado pelos tanques de armazenamento, para poder gerar uma autonomia competitiva para o veículo. Também podem ser utilizados tanques criogênicos para armazenamento, que possuem densidade volumétrica mais elevada se comparado ao armazenamento sob compressão (TASHIE-LEWIS; NNABUIFE, 2021). No entanto, como o hidrogênio se liquefaz em temperaturas criogênicas abaixo de  $-250^{\circ}\text{C}$ , uma consequência disso é que pelo menos 35% do conteúdo energético do combustível é necessário para liquefazê-lo durante o processo de liquefação (DURBIN; MALARDIER-JUGROOT, 2013). E mesmo o hidrogênio liquefeito acaba evaporando com o tempo, aumentando a pressão no reservatório e precisando ser expelido, por segurança (ZHANG, T. *et al.*, 2023). Os tanques e linhas de armazenamento de

hidrogênio por compressão ainda precisam ser isolados da atmosfera (TASHIE-LEWIS; NNABUIFE, 2021).

Outras dificuldades para a disseminação dos *FCEVs* são a falta de infraestrutura de abastecimento, custo elevado desses veículos e a baixíssima diversidade de modelos.

### 2.3 EMISSÕES DE GASES DO EFEITO ESTUFA

Na Figura 8 são apresentadas as emissões equivalentes em dióxido de carbono por MJ de combustível, utilizado em veículos com MCI. Neste estudo realizado pelo Joint Research Centre Of The European Commission (JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION, 2020) o diesel e a gasolina considerados são a partir de petróleo bruto proveniente de abastecimento típico da União Europeia. O gás natural representa uma mistura de gás natural da União Europeia (transporte para a UE por gasoduto, 2500 km, distribuição através de linhas principais de gás e rede de baixa pressão, compressão para GNV no ponto de varejo). O etanol considerado é a partir de cana-de-açúcar brasileira. Nesse estudo os combustíveis de origem fóssil, gasolina, diesel e gás natural possuem as maiores intensidades de carbono. É importante destacar os resultados de intensidade de carbono negativa do biometano enriquecido a partir de biogás de esterco animal. Esse fato se explica pelas emissões de GEE que são evitadas ao utilizarem-se os resíduos digestados como fertilizantes agrícolas (evitando o uso de fertilizantes químicos nitrogenados, que são fontes de emissões na agricultura) (EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION, 2020; HAGOS; AHLGREN, 2018). Outras motivações para esse resultado negativo são: ao tratar os resíduos animais são evitadas emissões de GEE; as plantas que servem como alimentação para os animais acabam por capturar carbono da atmosfera; durante o enriquecimento do metano, uma grande parte do carbono pode ser reutilizada, por exemplo, em combustíveis sintéticos (EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION, 2020; NGVA EUROPE, 2019).

Figura 8- Emissões de GEE de diferentes combustíveis e sistemas de *powertrain* na Europa

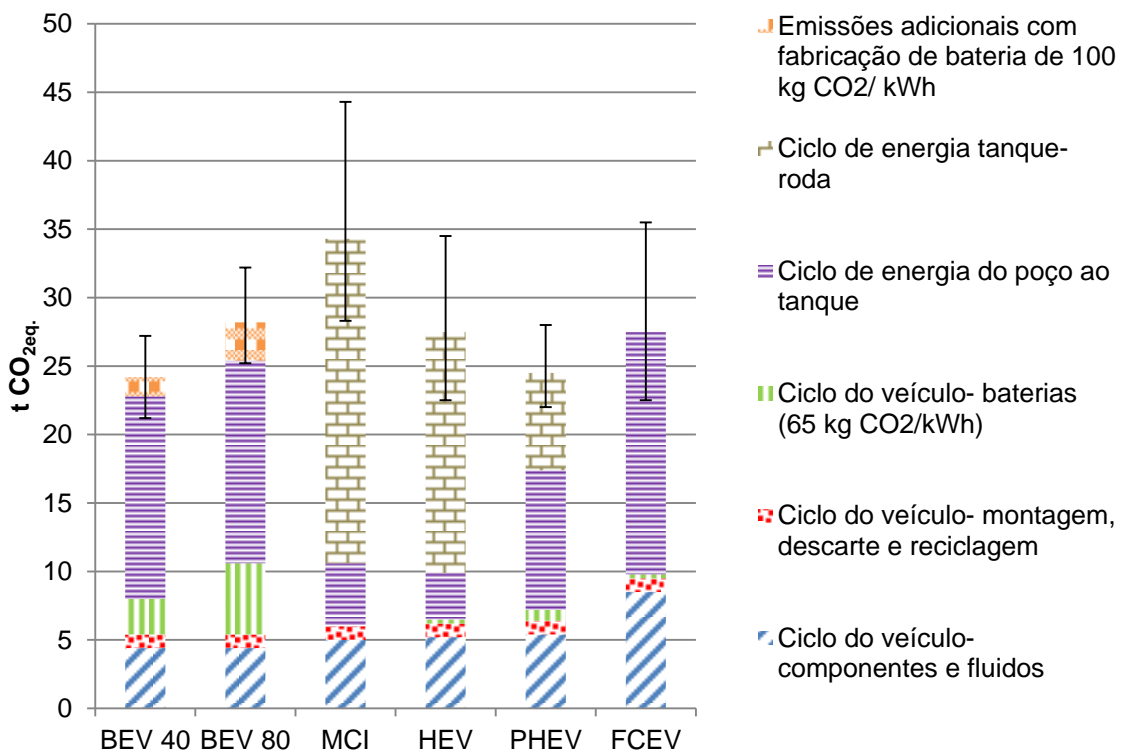
Fonte: Adaptado de (JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION, 2020).

Cai *et al.* (2022) mostraram que nos mercados dos Estados Unidos e da União Europeia, a produção de biometano via digestão anaeróbica do lodo de esgoto e esterco animal, oferecem as maiores oportunidades para reduzir as emissões de GEE do poço-a-roda (*WTW -Well-to-wheel*), em relação ao uso da gasolina como combustível de referência.

Na Figura 9 são apresentadas as emissões comparativas de GEE no ciclo de vida, ao longo de 10 anos (15 mil km anuais) de um carro médio, para diferentes tipos de sistemas de *powertrain* (JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION, 2020). No *BEV 40* adotou-se uma bateria de 40 kWh (*BEV 40*) e no *BEV 80* adotou-se uma bateria de 80 kWh. O tamanho da bateria do *PHEV* é de 10,5 kWh, onde 40% da quilometragem total é movida a gasolina e 60% com eletricidade. No *FCEV* a via de produção de hidrogênio considerada é a reforma do gás natural através do vapor de metano. A intensidade de carbono para o fornecimento de energia elétrica é uma média global de 2018. Dependendo da matriz energética de cada país, para produção de eletricidade, vão haver variações na intensidade de carbono no ciclo do poço ao tanque. Como é percebido nesse

estudo, nos *ICEVs* e nos *HEVs*, a maior intensidade de carbono gerada acontece no ciclo de combustível do tanque a roda, enquanto nos *BEVs*, *PHEVs* e *FCEVs* as maiores intensidades de carbono são geradas no ciclo de combustível do poço ao tanque. Percebe-se que no *BEV* 80 é gerada uma maior intensidade de carbono comparado ao veículo *BEV* 40, devido às emissões adicionais de GEE na produção da bateria e no ciclo do veículo. Portanto, com o aumento da autonomia do veículo, decorrente do uso de baterias com maiores capacidades, as emissões de GEE aumentam consideravelmente (HOEKSTRA, 2019). No *BEV* 40, Figura 9, não há emissões do tanque a roda, sendo um importante fator no potencial de redução de emissões do WTW.

Figura 9- Emissões comparativas de GEE do ciclo de vida ao longo de 150000 km de rodagem de um carro de porte médio por sistema de *powertrain*



Fonte: Adaptado de (IEA, 2020e).

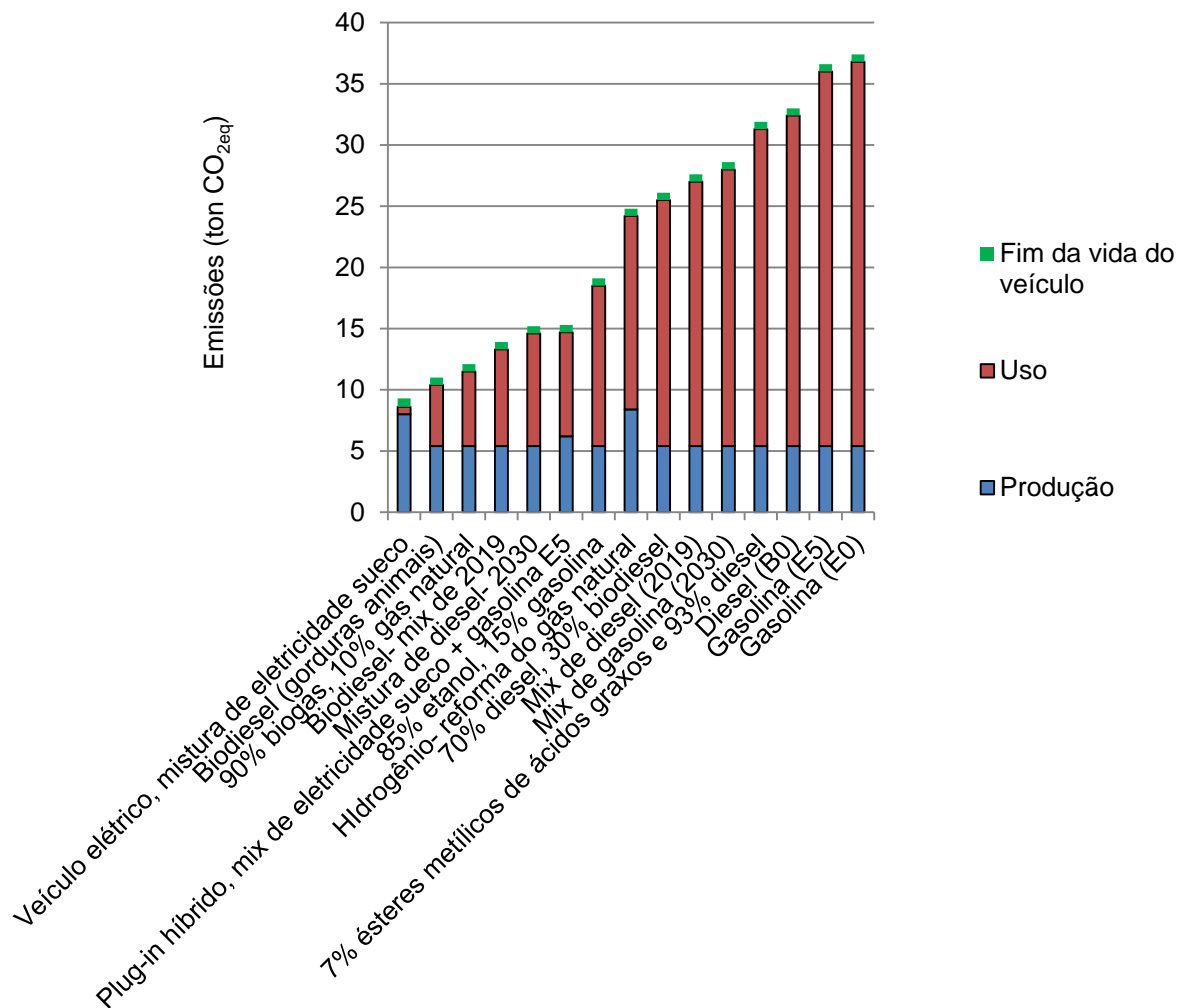
No estudo de Tomanik, Policarpo e Rovai, (2022) os autores comentam que em alguns casos os *BEVs* apresentam  $CO_{2eq}$  ainda maior que os *ICEVs*. Os autores ainda relatam que dependendo da intensidade de carbono da fonte de eletricidade, e o uso de combustíveis renováveis, o *ICEV* pode apresentar um saldo positivo.

Os resultados para as emissões de GEE de um veículo de passageiros na Suécia são apresentados na Figura 10. Os combustíveis escolhidos são representativos do mercado sueco, para todo ciclo de vida de um veículo de passageiros, que se presume que seja dirigido por 200000 km (IEA, 2020e). Quanto as emissões de GEE, as melhores opções disponíveis são o carro totalmente elétrico, resultando em emissões totais de 9 toneladas de CO<sub>2-eq.</sub>, durante o ciclo de vida do veículo, o carro 100% a biodiesel com 11 toneladas e a mistura com 90% de biogás e 10% de gás natural com 12 toneladas de CO<sub>2-eq.</sub>. A fase de uso do veículo é a que representa a maior porcentagem de emissões de GEE. Quanto ao veículo elétrico, com *mix* sueco de geração de eletricidade, a fase de produção é que gera maior quantidade de emissões de GEE. Em um veículo com biodiesel, a partir de gorduras animais, a fase de produção representa 5,4 ton CO<sub>2eq.</sub> de emissões de GEE, enquanto na fase de uso as emissões são de 5 ton CO<sub>2eq.</sub>

Orsi *et al.* (2016) realizaram uma análise do poço a roda a partir de um conjunto de diferentes tipos de combustíveis, (combustíveis à base de petróleo, gás natural comprimido, biocombustíveis e eletricidade) considerados em cinco combinações de energia nacionais (Brasil, China, França, Itália e os Estados Unidos). Os autores relataram que os veículos a gás natural comprimido possuem potencial para reduzir emissões de CO<sub>2</sub> em mais de 20% em comparação com os veículos a gasolina. As emissões dos veículos elétricos variam muito dependendo do *mix* de eletricidade. O uso de biocombustíveis leva às mais baixas emissões de CO<sub>2</sub>, onde o *mix* de geração de eletricidade é intensivo em carbono, nesse caso os veículos rodando em E85 poderiam reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> em mais de 50% em comparação com veículos a gasolina.



Figura 10- Emissões comparativas de GEE do ciclo de vida ao longo de 200000 km de vida de um veículo de passageiro



Fonte: Adaptado de (ROGER GOTTLIBEN; PUURUNEN; POIKOLAINEN, 2021).

Wu e Zhang (2017) estudaram diferentes tipos de *ICEVs* a gasolina e veículos elétricos, comparando seus efeitos no meio ambiente, em países desenvolvidos (Alemanha, França, Japão, EUA) e em países em desenvolvimento (China, Rússia, Índia, Brasil), com o método de análise do WTW. Os resultados mostram que, em comparação com os *ICEVs* movidos à gasolina, os veículos elétricos têm um efeito significativo na redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Os melhores efeitos de redução de emissões de CO<sub>2</sub>, devido ao uso de *PHEVs* e *BEVs*, são encontrados na França e no Brasil, devido à baixa intensidade de carbono no *mix* de geração de energia desses países. Nestes dois países, a substituição de um *ICEV* a gasolina por um ano por um *PHEV* leva a uma redução na emissão de CO<sub>2</sub> de 2365 e 2356 kg, respectivamente. Puricelli *et al.* (2022) mostraram que a recarga de um

BEV com o *mix* de eletricidade mais limpo atualmente disponível na Europa, ou seja, o da Noruega permite uma redução nas emissões de GEE de -70%, enquanto com o pior *mix* de eletricidade da Europa (Estônia), o impacto do BEV não supera o do combustível fóssil de referência (-5%).

Ramachandran e Stimming (2015) compararam o uso de combustíveis alternativos: eletricidade, hidrogênio e bioetanol, em combinação com as tecnologias de *BEVs* e *FCEVs*, com base em sua eficiência geral e nas emissões de GEE. O *mix* de produção de eletricidade da Alemanha (60% de energia de fontes de origem fóssil), França (76% de energia nuclear), Suécia e Áustria (60 e 76% de energia renovável, respectivamente), da União Europeia (48% de energia de fontes de origem fóssil) e dos Estados Unidos (68% da energia de fontes de origem fóssil) são considerados para a análise dos *BEVs*. Os resultados deste estudo mostram que o *BEV* (alimentado por um *mix* de produção de eletricidade derivada principalmente de fontes renováveis) e o *FCEV*, com célula a combustível de etanol direto, baseada em energia renovável e bioetanol, oferecem as melhores soluções em termos de emissões de GEE e eficiência.

ZHANG *et al.* (2023) estudaram as emissões de carbono do ciclo de vida considerando vários sistemas de energia, classe do modelo e autonomia elétrica para a China. Verificou-se que a maioria dos *HEVs* têm efeitos de redução de emissões em comparação *ICEVs* após o ano de 2020, exceto para *BEV* com autonomia superior a 700 km, que quase não tem efeito de redução de carbono ou pior ainda, o sedã classe A *BEV-1000* (com 1000 km de autonomia) é o pior, com uma taxa de redução de emissões de -33,08%. A taxa de redução de emissões dos veículos está entre 6,56% e 44,4% em 2020, 13,97%–53,39% em 2025 e 19,65%–57,49% em 2030. Verificou-se também que esta taxa de redução é significativamente diferente entre diferentes classes de veículos, sistemas de potência e autonomia elétrica. Para os autores *BEVs* com autonomia inferior a 500 km sempre possuem um bom efeito de redução de carbono.

Gonçalves *et al.* (2022) realizaram uma análise dos fatores econômicos, sociais, de infraestrutura e ambientais para as tecnologias disponíveis para redução de emissões de GEE em veículos leves no Brasil. A comparação feita inclui veículos *flex*, elétricos e híbridos. Os resultados indicaram que os motores *flex-fuel* apresentam o melhor desempenho econômico e ambiental para o Brasil. Os autores ainda mencionam que na literatura os *BEVs* e *HEVs* são consideradas alternativas

ambientalmente corretas por liberarem menos GEE, porém, quando verificados outros aspectos, como a reciclagem de baterias e uso de minerais, os veículos híbridos e elétricos apresentam uma desvantagem significativa. Uma das alternativas mais viáveis para o Brasil na busca pela redução líquida de emissão de CO<sub>2</sub>, o principal gás de efeito estufa, é o uso mais intenso de combustíveis renováveis, como a biomassa (ROVAL *et al.*, 2022).

Em relação aos *BEVs*, em países com uma alta proporção de energia nuclear ou renovável em seu *mix* de geração de eletricidade, os *BEVs* são significativamente mais ecológicos do que os *ICEVs* (ATHANASOPOULOU; BIKAS; STAVROPOULOS, 2018). Embora o consumo de eletricidade tanque-roda em veículos elétricos seja o mesmo para todos os países, o consumo poço-tanque é diferente em cada país, dependendo da composição e proporção das fontes primárias de produção de eletricidade, da tecnologia de geração de eletricidade utilizada, e da eficiência da distribuição da rede elétrica até o cliente final (SKRÚCANÝ *et al.*, 2019).

Do ponto de vista de emissões de gases do efeito estufa, em cada região é preciso avaliar o *mix* de geração de eletricidade e o potencial de aumento na geração de eletricidade renovável, para então considerar a ideia de introdução dos veículos elétricos. Em alguns países, como o Brasil, devido ao uso de biocombustíveis, as metas de emissões podem ser alcançadas com combustíveis renováveis. Em muitos locais, com *mix* de geração de eletricidade predominantemente de origem fóssil a introdução de veículos elétricos não traz benefícios para redução de emissões.

## 2.4 ANÁLISE DE PATENTES

Os bancos de dados de patentes são fontes valiosas para monitorar o desenvolvimento da tecnologia e avaliar a posição de potenciais concorrentes no mercado (DAIM *et al.*, 2006; KARVONEN *et al.*, 2016). A análise bibliométrica de patentes facilita a compreensão do estado atual de desenvolvimento da tecnologia. A análise de patentes fornece informações como a distribuição geográfica de determinadas invenções, redes de citação, previsões, tendências tecnológicas e desenvolvimento de novos produtos (CHO, Yonghee, 2013).

Várias técnicas são propostas na literatura para realizar as buscas das patentes em uma base de dados. A abordagem mais intuitiva é pesquisar por

palavras-chave, que são escolhidas com base no conhecimento do pesquisador ou intuição (ALBERTS *et al.*, 2011). Alberts *et al.* (2011) sugerem o uso de algumas medidas-chave a ser tomadas no momento da pesquisa com palavras-chave:

- a) Uso de sinônimos,
- b) Uso de operadores booleanos, operadores de proximidade e operadores de truncamento;
- c) Agrupamento apropriado de conceitos em consultas de pesquisa discretas;
- d) Combinação de consultas de pesquisa salvas apropriadamente;
- e) Uso adequado de progressão de consulta de pesquisa de amplo a estreito e estreito a amplo;
- f) Modificação iterativa de consultas de pesquisa armazenadas anteriormente à luz de frases e terminologia recém-adquiridas.

Uma alternativa para iniciar a recuperação de patentes ou para detalhar alguns aspectos dentro do conjunto relevante, são as classificações, como por exemplo, o IPC (*International Patent Classification*) (KOCH *et al.*, 2009). Ao realizar a pesquisa com códigos IPC é importante definir quantos dígitos serão utilizados para a classificação (3, 4 ou 7 dígitos). A análise de portfólio de patentes às vezes se concentra em um assunto ou tecnologia específicos, nessa situação, quase todas as patentes pertenceriam ao mesmo um ou dois IPCs de 3 ou 4 dígitos, portanto, seriam muito genéricos para descrever os detalhes tecnológicos (ZHANG, Yi *et al.*, 2016). Os códigos IPC podem ser consultados no portal WIPO (WIPO, 2021). Esses códigos são divididos em áreas do conhecimento, com várias subclassificações em cada uma dessas áreas, sendo divididos em: necessidades humanas (A); operações de desempenho, transporte (B); química, metalurgia (C); têxteis e papéis (D); construções fixas (E); engenharia mecânica, iluminação, aquecimento, armas, explosões (F); física (G) e eletricidade (H).

As principais bases de dados de patentes são: USPTO (*United States Patent and Trademark Office*); Espacenet da EPO (*European Patent Office*); JPO (*Japan Patent Office*); Patentscope da WIPO (*World Intellectual Property Organization*); Derwent Patent Citation Index e Google Patents. No Brasil a base de dados de patentes é a do INPI (Instituto Nacional de Propriedade Intelectual).

## 2.5 CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA

A lei do crescimento natural durante um tempo pode ser descrita através de períodos de nascimento, crescimento, maturidade e declínio para a maioria dos sistemas de mercado (Figura 11) (WANG, Y. H.; TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V., 2015). O nascimento é quando se assume o risco de desenvolvimento da tecnologia, os custos são muito maiores que os retornos financeiros e as tecnologias começam a ser introduzidas no mercado. No estágio de crescimento a tecnologia emergente possui baixo impacto competitivo e baixa integração em produtos ou processos (GAO *et al.*, 2013). O estágio emergente é caracterizado por um crescimento relativamente baixo do desempenho tecnológico em comparação com a quantidade de esforços de P&D. No estágio de maturidade o incremento tecnológico começa a se tornar bastante custoso. Na saturação o progresso tecnológico começa a cessar.

A tecnologia pode ser conceituada como um ciclo em que capacidades e competitividade surgem e decaem com o tempo (LEZAMA-NICOLÁS *et al.*, 2018). Os ciclos de vida da tecnologia são frequentemente modelados usando equações de curva logística que representam projeções com base em dados históricos das vendas do produto ou em pedidos cumulativos de patentes (WANG, Y. H.; TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V., 2015).

Para fazer a seleção do modelo de ajuste ótimo pode-se adotar o valor de R quadrado, desvio médio absoluto (MAD) e erro percentual absoluto médio (MAPE) para testar os efeitos de ajuste (KUMAR, R. R.; GUHA; CHAKRABORTY, 2022; NAGULA, 2016; YOON *et al.*, 2018). Quanto maior o valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) melhor é a desempenho da modelagem (MAY; KOCABIYIK, 2019). Quanto mais próximo de 1, maior a consistência entre o valor previsto do modelo e o valor do teste original e mais forte a capacidade de generalização. Geralmente um modelo é altamente correlacionado quando o intervalo de R está dentro de [0,9, 1] (DUAN *et al.*, 2023). Um valor menor de *MAD/MAPE* indica um melhor ajuste do modelo na amostra (KUMAR, R. R.; GUHA; CHAKRABORTY, 2022). É dado maior prioridade ao MAPE, pois, captura o verdadeiro erro de previsão do modelo, e também é amplamente utilizado na literatura existente em comparação com MAD (MEADE; ISLAM, T., 1998). Nas Equações 1 e 2 define-se

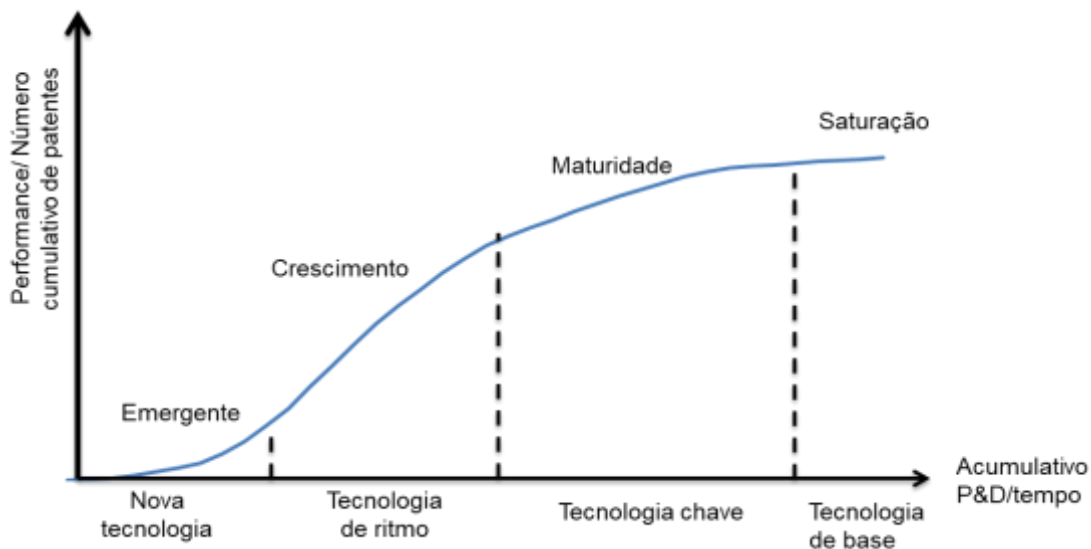
como podem ser calculados o MAD e o MAPE (KUMAR, R. R.; GUHA; CHAKRABORTY, 2022).

$$MAD = \frac{\sum_{j=1}^N |x_j - \hat{x}_j|}{N} \quad (1)$$

$$MAPE = \frac{100}{N} \sum_{j=1}^N \frac{|x_j - \hat{x}_j|}{\hat{x}_j} \quad (2)$$

Onde  $x_j$  é o número de famílias de patentes publicadas no  $j$ -ésimo período, e  $\hat{x}_j$  é a previsão correspondente para o mesmo período, enquanto  $N$  é o número de dados. Uma previsão com um MAPE entre 10-20% é considerado um bom ajuste e aqueles abaixo de 10% como um excelente ajuste (AYYADI; MAAROUFI, 2018). MAPE de 10% ou inferior é considerado perfeito, indicando que o modelo de previsão tem cerca de 90% de precisão (TRUONG, D.; TRUONG, M. D., 2021). Se o valor do MAPE estiver entre 10% e 20%, o processo de estimação é considerado bom, e se estiver entre 20% e 50%, o processo de estimação é considerado aceitável (PALA, 2023). Um valor de MAPE maior que 50% indica que a estimativa está incorreta (LI, N. *et al.*, 2021).

Figura 11- Curva S do ciclo de vida da tecnologia



Fonte: Adaptado de (GAO *et al.*, 2013).

A característica mais importante do modelo logístico é sua simetria no ponto de inflexão. Se o ponto de inflexão de uma curva S ocorreu, é fácil indicar a tendência restante (TRAPPEY, C. V. *et al.*, 2011). O desenvolvimento de novas tecnologias segue uma curva em forma de S de acordo com o tempo  $t$ , onde há variações nos pontos do ciclo de vida (LEE, C. Y.; HUH, 2017). O modelo logístico é definido pela Equação 3 (CHIU; YING, 2012):

$$P(t) = \frac{k}{1 + e^{-\alpha(t-\beta)}} \quad (3)$$

Onde  $P(t)$  significa que o número de patentes varia com o tempo  $t$ ,  $\alpha$  significa a taxa de crescimento da inclinação da curva S;  $\beta$  significa o ponto de inflexão do crescimento, que é o ponto de virada do tempo gasto na técnica;  $k$  representa o nível de saturação do crescimento. Diferentes métodos de estimação de parâmetros podem ser usados para determinar os coeficientes do modelo logístico, entre eles: método dos mínimos quadrados (CHEN, Y. H.; CHEN, C. Y.; LEE, S. C., 2011; SHIN; LEE, C. Y.; KIM, H., 2016); e Monte-Carlo (KIM, Y. J.; WILSON, C., 2019).

Na literatura alguns estudos foram realizados com o modelo logístico, para estimar o ciclo de vida tecnológico. Ressalta-se o estudo de Zhili, Boqiang e Chunxu (2019), onde foi utilizado o modelo logístico para prever a posse futura de carros na China. Também se calculou a quantidade total de petróleo consumida pelo setor automobilístico da China. O caminho de desenvolvimento de médio prazo dos veículos elétricos foi analisado a partir de dois aspectos: meio ambiente e restrições de segurança energética. Os resultados mostraram que o desenvolvimento de veículos energeticamente eficientes tem grande dependência política. Para atingir as restrições ambientais e de segurança energética, o governo precisa aumentar a promoção dos veículos elétricos nos próximos anos. Lin e Wu (2021) adotaram um modelo logístico para descrever a trajetória de crescimento da propriedade de veículos na China. Um modelo de equilíbrio geral computável é construído para prever a demanda futura de petróleo e simular o impacto dos veículos elétricos no consumo de petróleo, macroeconomia e emissões. Os resultados revelam que o desenvolvimento de veículos elétricos pode fazer com que a demanda por petróleo na China atinja o pico em 2029. Após esse período a demanda por petróleo diminuiria em razão da crescente introdução de veículos elétricos no país.

Ruoso e Ribeiro (2022) apresentaram um modelo preditivo do crescimento da adoção de veículos elétricos considerando as características dos países. Foram coletados dados socioeconômicos de 28 países, onde foi realizado um estudo de correlação e um modelo preditivo baseado em regressão não linear e curvas S assimétricas foram desenvolvidas. Os resultados mostram que a Suécia, Alemanha, Holanda, França e China se destacam com crescimento acima do esperado, indicando que a adoção dos veículos elétricos está ocorrendo de forma especialmente rápida nesses países. A adoção acelerada pode ser explicada por políticas públicas de descarbonização do setor de transportes apoiadas por subsídios à aquisição de veículos, incentivos fiscais e investimentos em infraestrutura. No Anexo A são apresentados alguns incentivos encontrados para cada um desses países.

Fluchs (2020) estudou o processo de difusão dos *BEVs* na União Europeia e em outros países. Com base em um modelo logístico de difusão da tecnologia, os processos de crescimento descritos por curvas S foram previstos para 18 países da União Europeia e cinco países de referência adicionais em todo o mundo. O artigo revela que os incentivos financeiros na forma de vantagens de preço de compra desempenham um papel importante na difusão. Ayyadi e Maaroufi (2018) previram a difusão dos veículos elétricos no mercado marroquino por três modelos: Gompertz, Logístico e Bass. As previsões mostraram que o mercado atinge seu máximo de vendas após 14 anos, sendo que este resultado pode ser alterado em função dos subsídios governamentais. Concluiu-se que a redução dos preços das baterias aumentaria a velocidade de difusão para obter rapidamente a saturação do mercado.

Yuan e Cai (2021) previram as tendências de desenvolvimento futuro das tecnologias de *powertrain* com base em dados de patentes. Um método revisado de previsão tecnológica foi proposto com base na simulação da curva de crescimento S. As descobertas mostraram que o *HEV* tem o futuro mais promissor, seguido por *BEV* e *ICEV*, enquanto o *FCEV* desenvolve-se lentamente.

Ranaei *et al.* (2016) utilizaram dados de patentes, de 1990 a 2010, para definir os ciclos das tecnologias de veículos elétricos e de *FCEVs*. Os resultados da análise de patentes são comparados com a literatura existente e a opinião de especialistas. Os achados sugerem que o desenvolvimento de veículos elétricos



será mais rápido e com maior participação em P&D, comparado aos veículos a hidrogênio.

Nas subseções 2.5.1, 2.5.2, 2.5.3 e 2.5.4 ainda são discutidos o ritmo de desenvolvimento da tecnologia, velocidade de difusão da tecnologia, taxa de crescimento da tecnologia e inovações disruptivas e incrementais.

### 2.5.1 Ritmo de desenvolvimento da tecnologia

Três índices capazes de descrever o ritmo de desenvolvimento de patentes podem ser calculados. Esses índices são a taxa de maturidade tecnológica (*TMR-technology maturity ratio*), o número de patentes em potencial a aparecer (*PPA-potential patents to appear*), e a vida útil restante esperada (*ERL- expected remaining life*) (YOON *et al.*, 2018). Os dois primeiros índices podem ser simplesmente calculados usando o nível de saturação  $k$  da curva de crescimento. Primeiro, a *TMR* tem um valor entre 0 e 1 e indica o grau em que uma tecnologia se aproximou do seu nível máximo de desenvolvimento. *ERL* é usado para prever o tempo restante estimado para atingir a saturação. O *TMR*, *ERL* e o *PPA* de uma tecnologia são definidos da seguinte maneira, conforme as Equações 4, 5 e 6 respectivamente (YOON *et al.*, 2014):

$$TMR(t) = \frac{k_{now}}{k} \quad (4)$$

$$ERL = T_k - T_{now} \quad (5)$$

$$PPA = k - k_{now} \quad (6)$$

Onde  $k_{now}$  representa o número cumulativo de patentes no tempo  $t$ ,  $T_k$  é o ano que o número cumulativo de patentes é esperado para atingir a saturação e  $T_{now}$  é o presente ano.

### 2.5.2 Velocidade de difusão tecnológica

Difusão é um processo pelo qual uma inovação é disseminada por alguns caminhos específicos em um sistema social (CHENG, A. C., 2012). A difusão da tecnologia pode ser definida como um processo de transbordamento de

conhecimento, que é representado pela citação de patentes (LEE, M.; KIM, K.; CHO, Youngsang, 2010). As patentes são meios de divulgação das tecnologias. Quanto mais frequentemente a patente é citada, mais ampla é a área de difusão da tecnologia. Se uma patente é citada por patentes subsequentes, implica que a patente citada é difundida, valiosa e aplicada (YOON *et al.*, 2014). As tecnologias que tem altas taxas de citações possuem maior sucesso na comercialização do que aquelas que têm baixas taxas de citação. Investimento em tecnologia com alto potencial de difusão pode resultar em maior potencial de mercado (ALTUNTAS; DERELI; KUSIAK, 2015). A primeira citação de uma patente ocorre com um atraso médio de aproximadamente 4 anos (GAY *et al.*, 2005).

A velocidade de difusão da tecnologia (*TDS- technology diffusion speed*) pode ser calculada com a Equação 7 (ALTUNTAS; DERELI; KUSIAK, 2015; HUANG, Lucheng; WANG, N., 2013):

$$TDS = \frac{A}{B} \quad (7)$$

Onde *A* é número total de citações recebidas e *B* é o número total de patentes consideradas para difusão. A incógnita *A* representa o somatório de citações que o conjunto de patentes *B* recebeu.

### 2.5.3 Taxa de crescimento da tecnologia

De acordo com Milanez *et al.*, (2014) a taxa de crescimento anual ( $G_i$ ) das patentes pode ser calculada usando a Equação 8, onde  $N_i$  é o número de documentos de patentes no ano 'i' e  $N_{i-1}$  é o número de documentos de patentes no ano anterior ("i -1").

$$G_i = \frac{(N_i - N_{i-1}) \times 100}{(N_{i-1})} \quad (8)$$

#### 2.5.4 Inovações disruptivas ou incrementais

As tecnologias disruptivas introduzem um pacote de atributos muito diferente daquele que os clientes tradicionais valorizam historicamente, e muitas vezes têm um desempenho muito pior em uma ou duas dimensões que são particularmente importantes para esses clientes (BOWER, J. L., 1995). Os produtos baseados na tecnologia disruptiva inicialmente atendem apenas a um nicho de mercado, que valoriza dimensões de desempenho em que a tecnologia disruptiva se destaca (DANNEELS, 2004). Com investimentos em pesquisa e desenvolvimento o desempenho da tecnologia disruptiva melhora a ponto em que também pode satisfazer os requisitos do mercado principal.

O conceito de tecnologia disruptiva foi estendido para um conceito mais amplo como inovação disruptiva, que não se refere apenas a rupturas na tecnologia, mas também envolve rupturas em outros aspectos como produtos e modelos de negócios (HANG; GARNSEY; RUAN, 2015). Trata-se de um processo pelo qual um produto ou serviço se enraíza inicialmente em aplicações simples na parte inferior de um mercado e, em seguida, incansavelmente sobe no mercado, eventualmente deslocando concorrentes estabelecidos (CLAYTON CHRISTENSEN, 2022). O termo inovação disruptiva é usado para descrever inovações que são tão diferentes que seu estabelecimento no mercado causa uma ruptura no sistema pré-existente (HARDMAN, S.; STEINBERGER-WILCKENS; HORST, VAN DER, 2013). A decisão de investir é menos arriscada quando a inovação representa o aprimoramento gradual das tecnologias existentes. Esse aprimoramento gradual realizado na tecnologia existente é chamado de inovação incremental (GHOSH; KATO; MORITA, 2017).

Zapata e Nieuwenhuis (2010), mencionam que na indústria automobilística os veículos movidos a etanol e a tecnologia híbrida, são exemplos de tecnologias incrementais, enquanto os veículos a células de combustível são tecnologias radicais que podem potencialmente ser disruptivas. Hardman, Steinberger-Wilckens e Horst (2013) apontam que os *BEVs* e os *FCEVs* são possíveis inovações candidatas a serem disruptivas. Os autores argumentam que para uma tecnologia ser rotulada como disruptiva, ela deve ser disruptiva em pelo menos duas das seguintes áreas: disrupção para empresas líderes de mercado, disrupção para

usuários finais e disrupção para a infraestrutura existente. Hardman, e Steinberger-Wilckens (2015) afirmam que os *BEVS* e *FCEVs* compartilham algumas barreiras, que são a infraestrutura precária e custam mais do que os *ICEVs* convencionais. Essas tecnologias atuam de maneira disruptiva na base de habilidades existente das empresas automobilísticas, negando alguns dos benefícios da incumbência (PILKINGTON; DYERSON, 2004).

## 2.6 FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO

Fatores críticos de sucesso (FCS) são as funções ou áreas nas quais deve-se dar certo para garantir o desempenho competitivo de uma organização (SANGLE, 2010). Outras definições de FCSs são apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2- Definições de fatores críticos de sucesso

| Definição  | Autor  |
|--|--|
| Os fatores críticos de sucesso são entradas para a prática de gerenciamento de projetos que podem levar direta ou indiretamente ao sucesso do projeto.   | (ALIAS <i>et al.</i> , 2014)                         |
| Os fatores críticos de sucesso podem ser definidos como o número limitado de áreas que devem apresentar resultados minimamente satisfatórios para garantir o sucesso do desempenho competitivo organizacional. | (MORIOKA; CARVALHO, 2013)                            |
| Os fatores críticos de sucesso são compreendidos como áreas-chave nas quais os resultados devem ser satisfatórios para assegurar um desempenho de sucesso para a organização ou projeto.                       | (FERNANDES, D. R. A.; LIMA, S. M. L.; CHAGNON, 2020) |

Fonte: Autor.

Na literatura encontram-se alguns estudos, onde o objetivo foi apresentar e discutir os FCS para os veículos elétricos. Os FCSs foram reunidos na literatura, através de uma revisão sistemática, e são apresentados e discutidos nas próximas seções. Nas seções 2.6.1 os fatores político-sociais são apresentados, 2.6.2 os fatores tecnológicos, 2.6.3 os fatores econômicos, 2.6.4 fatores de *marketing* e na seção 2.6.5 os fatores ambientais. Todos esses FCSs que são apresentados são capazes de influenciar a difusão e o sucesso dos veículos elétricos. Na seção 4.5 os principais resultados da revisão sistemática de literatura também são apresentados.

### 2.6.1 Fatores político-sociais

A adoção bem-sucedida do mercado e o aumento do número dos veículos elétricos exigem políticas massivas e assertivas (FIGENBAUM *et al.*, 2015b). O apoio do governo, o compromisso de longo prazo e os incentivos orientados para o mercado ajudam a reduzir o risco percebido. Casos bem-sucedidos de adoção dos veículos elétricos destacam a importância de ter um sistema colaborativo entre várias partes interessadas públicas e privadas, de modo a tomar medidas eficazes (RIETMANN; LIEVEN, 2019b). Dentro disso, cabe ao governo e à sociedade, para uma introdução bem-sucedida dos veículos elétricos, desenvolver políticas e ações voltadas para o estabelecimento de padrões tecnológicos, regulamentações, desenvolvimento de infraestrutura, incentivos e iniciativas de P&D.

Åhman (2006) estudou a política governamental e o desenvolvimento dos veículos elétricos no Japão. O autor mostrou que o governo japonês adotou uma estratégia abrangente, incluindo P&D, programas de demonstração e suporte ao mercado guiados por planos estratégicos de longo prazo. O papel do governo tem sido um impulsionador no processo de desenvolvimento, fornecendo suporte para P&D através de legislação e padrões.

Para a introdução bem-sucedida, é necessário desenvolver padrões tecnológicos e regulamentos para os veículos elétricos, de modo a padronizar a tecnologia de produção, criando regulamentos e padrões para parâmetros técnicos (REN, J., 2018).

Quanto à infraestrutura, o grande obstáculo atual na adoção dos veículos elétricos é a escassez de postos de abastecimento de hidrogênio (para *FCEVs*) e também de postos de carregamento de eletricidade para *BEVs* ou *PHEVs* (UN-NOOR *et al.*, 2017). É preciso ter estações públicas em locais estratégicos e em quantidade adequada, para possibilitar viagens mais longas. Com o aumento na quantidade dos veículos elétricos e postos de recarregamento, também é necessário expandir o sistema de rede elétrica. Diante disso, a infraestrutura existente pode ser insuficiente para atender às demandas de energia projetadas (KABLI *et al.*, 2020). A provisão de financiamento público ou privado para a construção de infraestrutura local, como o programa alemão Electromobility Model Regions e na França, o programa ADVENIR (KÜNLE; MINKE, 2022), pode ser uma alternativa para desenvolver a infraestrutura necessária.

Na Europa, atualmente vive-se uma crise energética, em decorrência da Guerra da Ucrânia e da dependência de muitos países do gás natural Russo. Essa crise energética pode afetar os veículos elétricos. A Suíça, por exemplo, tem planejado restringir o uso de veículos elétricos durante o inverno (WEHNER, 2022).

Além disso, também no caso dos *FCEVs*, a criação de uma infraestrutura para produção, armazenamento, transporte e distribuição de hidrogênio é essencial (SILVA CÉSAR, DA *et al.*, 2019).

Além de fornecer infraestrutura aos usuários, os incentivos financeiros e não financeiros também são um meio de promover a disseminação dos veículos elétricos. Alguns dos principais incentivos financeiros são: descontos de compra, isenções ou reduções de impostos rodoviários, imposto anual de circulação, imposto de registro, imposto sobre combustível e taxas de congestionamento (AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016; FIGENBAUM *et al.*, 2015b; RIETMANN; LIEVEN, 2019b). No Anexo A são apresentados alguns exemplos de incentivos aplicados em diferentes países. O subsídio na compra do veículo é utilizado em países como Estados Unidos, Alemanha, Inglaterra e Holanda. Na Alemanha, em 2023 os subsídios aos veículos elétricos foram reduzidos, comparado aos anos anteriores. No mês de janeiro de 2023, observou-se uma queda de 13% nas vendas de *BEVs* e 53% nos *Plug-in HEVs*, comparado ao mesmo mês do ano de 2022, possivelmente ocasionado pela redução dos subsídios (AUTOMOTIVE NEWS EUROPE, 2023). A China retirou os subsídios aos veículos elétricos, em 2023. Percebeu-se na China uma redução de 8% nas vendas de veículos elétricos no mês de janeiro de 2023 (KANE, 2023). Globalmente as vendas de veículos elétricos estão com um ímpeto reduzido em 2023, em decorrência de vários fatores, como: retirada ou redução de subsídios, crise energética da Europa e a consequente inflação, e os temores de recessão nos Estados Unidos (SPGLOBAL, 2023).

Na Noruega, em 2023, os compradores de veículos elétricos recebem isenção de 25% no IVA (Imposto sobre Valor Agregado) e também foi criado um imposto com base no peso dos veículos elétricos. Os incentivos não financeiros dizem respeito a vagas de estacionamento gratuitas, possibilidade de os motoristas usarem faixas de ônibus, ampla disponibilidade de estações de carregamento rápido, permissão para os veículos elétricos entrarem no centro da cidade e zonas de emissão zero (AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016) e estradas com pedágio gratuito (INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019). Neste mesmo país, em 2023

os veículos elétricos pagarão somente 70% do valor do pedágio em rodovias, conforme Anexo A.

Além disso, incentivos governamentais para o desenvolvimento de uma cultura de pesquisa e desenvolvimento são essenciais. É por isso que ações de P&D também são referidas como FCS e aliam-se às políticas que apoiam tecnologias inovadoras (ZHANG, Lei; QIN, 2018a). Normalmente, as atividades de P&D são consideradas uma base para a geração de conhecimento tecnológico (WU, Yingwen *et al.*, 2020).

Mesmo com o desenvolvimento da infraestrutura, presença no mercado de diversos modelos de veículos elétricos, incentivos, ainda é necessário que os veículos sejam aceitos pela sociedade. A aceitação pública dos veículos elétricos é identificada como um fator relevante para o sucesso (LI, Zhenhe; KHAJEPOUR; SONG, J., 2019). Dirigir um veículo elétrico, em vez de um veículo movido a combustível fóssil, leva tempo para se adaptar quanto aos hábitos de consumo, considerando os padrões envolvidos no processo, como hábitos de reabastecimento, menor autonomia/distância, manutenção e outros (UN-NOOR *et al.*, 2017).

Variáveis demográficas podem influenciar a aceitação pública dos veículos elétricos (HAUSTEIN; JENSEN, 2018b). As principais variáveis demográficas são: sexo, estado civil, escolaridade, idade, tipo de trabalho, renda, área residencial e condição de propriedade do carro (CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K., 2015; WANG, N.; YAN, R., 2015). (HAUSTEIN; JENSEN, 2018b) com base em pesquisas na Dinamarca e na Suécia, compararam os perfis sociodemográficos, perfis de atitude e padrões de mobilidade de usuários de *BEV* e usuários de veículos convencionais. Os resultados mostraram que os usuários de *BEV* são tipicamente do sexo masculino, com alto nível educacional, alta renda e frequentemente possuem mais de um carro em casa. Lee, Hardman e TAL (2019) estudaram o perfil sociodemográfico de 11037 adotantes de *PHEV* na Califórnia. Os resultados mostraram que 49% são famílias de alta renda, 26% são famílias de renda média/alta, 20% são famílias jovens de renda média/alta e cerca de 5% são inquilinos de renda média. Habich-Sobiegalla, Kostka e Anzinger (2018) analisaram fatores importantes no interesse em comprar um veículo elétrico, com base em um conjunto de dados transnacional com 2806 entrevistados da China, Brasil e Rússia. Os resultados indicam que as intenções de compra de veículos elétricos entre

cidadãos chineses são maiores que entre brasileiros e russos. A intenção de compra dos cidadãos nos três países é afetada por pessoas que têm uma grande mídia social e conhecem pessoas que dirigem veículos elétricos.

A intenção de comprar ou vender veículos elétricos é afetado por fatores psicológicos. Os estudos psicológicos centram-se na motivação e no processo de tomada de decisão, observando a influência de fatores psicológicos específicos (atitudes, emoções, etc.) e percepções sobre a aquisição de um veículo elétrico (LIAO, F.; MOLIN; WEE, VAN, 2017). Dois fatores são a “*range anxiety*”, ou ansiedade de alcance, que é o medo que o motorista de um veículo não tenha energia o suficiente para cobrir a distância necessária do trajeto (ÁLVAREZ FERNÁNDEZ *et al.*, 2018) e a ansiedade de revenda. A ansiedade de revenda é a preocupação de que o valor de revenda dos veículos elétricos caia rapidamente, em comparação com os veículos movidos à gasolina (LIM; MAK; RONG, Y., 2015). Alguns outros fatores também são identificados como influenciadores do desejo de compra: a experiência de dirigir (BENNETT; KOTTASZ; SHAW, 2016; HAUSTEIN; JENSEN, 2018b; KÜHL *et al.*, 2019); interesse em novas tecnologias (FIGENBAUM *et al.*, 2015a; HARDMAN, S.; TAL, 2016; INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019; KÜHL *et al.*, 2019); *status* social (CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K., 2015; MATTHEWS *et al.*, 2017; SARITAS; MEISSNER; SOKOLOV, 2019); percepção como carro amigo do ambiente (CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K., 2015; HARDMAN, S.; TAL, 2016; HAUSTEIN; JENSEN, 2018b) e compatibilidade percebida com objetivos pessoais (HAUSTEIN; JENSEN, 2018b).

No Brasil, os fatores político-sociais não contribuem para a introdução dos veículos elétricos, no presente momento. Pois a infraestrutura de recarga ainda é muito limitada, os incentivos ao uso são praticamente inexistentes, entre outros fatores. Tal constatação pode ser explicada pelo uso e maior interesse do Brasil nos biocombustíveis.

### **2.6.2 Fatores tecnológicos**

Os fatores tecnológicos são os principais obstáculos ao sucesso dos veículos elétricos (UN-NOOR *et al.*, 2017). O alcance limitado é uma das barreiras tecnológicas que os veículos elétricos possuem. Os *BEVs* apresentam um alcance de cerca de 240 a 640 km (SLOWIK *et al.*, 2022), enquanto os *HEVs* possuem um



alcance maior, como pode ser visto no Quadro 3. Os *BEVs* acabam sendo menos competitivos nesse quesito quando comparados aos *ICEV*, que podem atingir aproximadamente 800 km de autonomia, dependendo do veículo analisado. Os *HEVs* nesse quesito acabam sendo comparáveis aos *ICEVs* e em alguns casos até com maior autonomia. Por exemplo, o HEV Kia Niro, que roda cerca de 17,7 km/l na cidade e 19,8 km/l na estrada (INMETRO, 2023), e com um tanque de combustível de 42 litros (KIA, 2023), então cobre aproximadamente 743,4-831,6 km/tanque de combustível. Ou Lexus CT 200h que roda cerca de 16,6 km/l na cidade e 14,7 km/l na estrada (INMETRO, 2023), com tanque de combustível de 45 litros (LEXUS, 2020), com isso roda aproximadamente 661,5-747 km/ tanque de combustível.

Outro aspecto que os veículos elétricos diferem muito de um *ICEV* é o tempo de carregamento/reabastecimento do veículo. Para *BEVs*, o processo é relativamente demorado, dependendo da capacidade da bateria e tensões de carregamento. Em tensões de 220-240 v, leva de 7 a 12 horas para atingir 80% da carga da bateria (DAS *et al.*, 2020). O polonês EV FSE 01, com baterias de íon-lítio de 14 kWh e autonomia de 102 km, leva aproximadamente 6 horas para carregamento monofásico ou 3 horas para carregadores trifásicos (ŁUSZCZYK *et al.*, 2021). Ainda existe a opção de carregamentos rápidos (normalmente 30-45 minutos por carga) para os veículos elétricos, o que ocorre em níveis de potência mais elevados (ASAAD *et al.*, 2018). Os carregadores rápidos geralmente operam em tensões entre 480 v e 100 amperes e 1000 v e 500 amperes (CALIFORNIA ELECTRIC VEHICLE INFRASTRUCTURE PROJECT, 2023). Por exemplo, o carregador rápido da EVBOX pode fornecer até 350 kW de potência e carregar totalmente um veículo em 15 minutos (EVBOX, 2023). Já nos *FCEVs*, o tempo de abastecimento é comparável ao de um veículo tradicional.

Quadro 3- Especificações técnicas de alguns modelos de veículos elétricos

| Modelo                                    | Sistema de <i>powertrain</i> | Potência máxima (cv) | Torque máximo (Nm)     | Massa bruta total (kg) | Tempo de recarga lenta (horas) | Capacidade da bateria (kWh) | Autonomia (km) |
|---|------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|-----------------------------|----------------|
| JAC IEV40 (JAC MOTORS, 2023a)             | <i>BEV</i>                   | 115                  | 270                    | 1835                   | 10                             | 40                          | 300            |
| JAC IEV 20 (JAC MOTORS, 2023b)            | <i>BEV</i>                   | 68                   | 215                    | 1475                   | -                              | 41                          | 301            |
| Nissan Leaf (NISSAN, 2023)                | <i>BEV</i>                   | 149                  | 320                    | 1605                   | -                              | 40                          | 240            |
| Renault Zoe (BRASIL, 2020)                | <i>BEV</i>                   | 92                   | 220-250                | 1480                   | 8,55                           | 41                          | 300            |
| Fiat 500e (FIAT, 2021)                    | <i>BEV</i>                   | 118                  | 220                    | 1690                   |                                | 42                          | 320            |
| Chevrolet Bolt (CHEVROLET, 2022)          | <i>BEV</i>                   | 203                  | 360                    | 1635                   | 11                             | 66                          | Até 416        |
| BMW i3 ("BMW i3", 2020)                   | <i>BEV</i>                   | 170                  | 250                    | 1640                   | 10                             | 42,2                        | Até 336        |
| BMW i8 (BMW, 2020)                        | <i>Plug-in HEV</i>           | 132 E<br>234 C       | 320 C                  | -                      | -                              | -                           | 37 E           |
| Porsche Cayenne E Hybrid (PORSCH E, 2023) | <i>Plug-in HEV</i>           | 462                  | 700                    | 2370                   | -                              | -                           | -              |
| Lexus CT 200H (LEXUS, 2020)               | <i>HEV</i>                   | 98 C<br>80 E         | 142 C<br>207 E         | 1465                   | -                              | -                           | -              |
| Corolla Altis Hybrid** (TOYOTA, 2023)     | <i>Flex fuel-HEV</i>         | 101 E +98<br>C       | 142,2 C<br>+162,8<br>E | 1445                   | -                              | -                           | -              |

Nota: C= combustão; E= elétrico.

Fonte: Autor.

Outra questão importante em relação à bateria é a vida útil, assim como para as células de combustível. A durabilidade de uma célula de combustível é de

aproximadamente 150000 km (COX *et al.*, 2020) e a de uma bateria de aproximadamente 160000 km (BENNETT; KOTTASZ; SHAW, 2016). Comparando com a durabilidade de um motor de combustão interna, que chega a aproximadamente 250000 km, fica claro que ainda são necessários avanços importantes nesse sentido. A otimização do tamanho da bateria e do motor é um importante aspecto tecnológico que desafia os pesquisadores. As baterias de armazenamento de energia são grandes para fornecer uma autonomia viável, ocupando assim um espaço considerável e adicionando mais peso ao veículo. Como, por exemplo, o *BEV JAC IEV 40*, em que só a bateria acaba agregando 320 kg ao veículo. Os *FCEVs* também apresentam esse problema com relação ao tanque de armazenamento de hidrogênio pressurizado, que ocupa um volume considerável do veículo. Como exemplo, o Toyota Mirai, que possui dois tanques que juntos fornecem uma capacidade de 122,4 litros, que armazenam o hidrogênio a uma pressão de 70 MPa (TOYOTA, 2020).

A segurança no veículo elétrico e também na infraestrutura de abastecimento é outro destaque. Os veículos elétricos se destacam por serem muito silenciosos, o que na opinião de estudiosos pode, em alguns momentos, colocar em risco a vida dos pedestres, pois, as pessoas não ouvem a aproximação do veículo (HAUSTEIN; JENSEN, 2018b). Além disso, os veículos elétricos têm modos de condução bastante diferentes dos veículos tradicionais, o que leva a novos perigos ocultos, como desastres de incêndio e ignição automática (REN, J., 2018). A bateria e os tanques de armazenamento por compressão de hidrogênio representam alguns desses perigos. A extinção de incêndios em baterias de lítio, por exemplo, apresentam grande dificuldade, longa duração e alta temperatura (LUO *et al.*, 2018).

O armazenamento e transporte de hidrogênio, além de apresentar alguns riscos, apresentam outras dificuldades tecnológicas. O armazenamento de hidrogênio é um fator essencial, especialmente quando se refere ao hidrogênio em termos de uso em massa (MORADI; GROTH, 2019). O principal método adotado para armazenar hidrogênio é sob compressão, porém requer grandes volumes devido à baixa densidade do hidrogênio (MORADI; GROTH, 2019). A difusão e a fragilização no armazenamento e transporte do hidrogênio representam alguns problemas. Como o hidrogênio possui uma molécula pequena, as paredes e juntas de tubulações devem possuir um nível de qualidade a qual as moléculas não possam passar (WILKEN, 2023). Ainda se o material for inadequado, as moléculas

podem penetrar, tornando o material quebradiço. O transporte também é prejudicado por questões de armazenamento.

### 2.6.3 Fatores econômicos

Fatores econômicos são decisivos para a adoção dos veículos elétricos. Os preços dos *BEVs* ainda são vistos como uma das principais barreiras para sua penetração mais rápida (AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016). Krishnan e Koshy relataram que na Índia o preço de compra e o custo da bateria do veículo elétrico são preocupações sérias (KRISHNAN; KOSHY, 2021).

O preço da energia/combustível também influencia na escolha de um sistema de *powertrain*, pois, afeta diretamente a viabilidade econômica de compra de *BEVs* e *HEVs* (SILVA, R. E. DA; SOBRINHO; SOUZA, T. M. DE, 2018). No início da introdução dos veículos elétricos, na maioria dos países, os pontos de recarga fornecem energia gratuitamente, porém, conforme o número de veículos aumenta a tendência é que eles se tornem pagos. Com o aumento do número de veículos, a preferência é que a recarga de bateria seja residencial. Krishnan e Koshy mostraram que como o custo de operação do veículo elétrico é apenas um quinto do veículo convencional, pessoas de baixa renda acreditam que o veículo elétrico pode trazer benefícios econômicos de longo prazo (KRISHNAN; KOSHY, 2021). No que se refere ao custo operacional por quilômetro, na Índia, os veículos elétricos são cerca de 80-85% mais baratos que os *ICEVs*, dados os preços atuais da eletricidade e da gasolina/diesel (KUMAR, R.; LAMBA; RAMAN, 2021). Kim *et al.* (2018) mencionaram que o público percebeu fortemente as vantagens econômicas na economia de combustível.

Os principais itens dos veículos elétricos que afetam consideravelmente os custos de manutenção são as baterias (no caso dos *HEVs* e *BEVs*) e as células de combustível (no caso dos *FCEVs*). O alto custo da bateria é uma grande barreira à penetração de *PHEV* e *BEVs* (LIU, C.; LIN, Z., 2017). O preço dos veículos elétricos depende diretamente do custo por unidade de capacidade de energia da bateria (WU, Z.; MA, Q.; LI, C., 2015). No entanto, a manutenção em um veículo elétrico é menos frequente, pois, um motor elétrico é mais simples e não requer caixa de câmbio, bomba de combustível ou óleo lubrificante (MASIERO *et al.*, 2017). Os *FCEVs* ainda são muito caros, mesmo quando comparados aos *BEVs* (SARITAS;

MEISSNER; SOKOLOV, 2019). *FCEVs* ainda permanecem 10 vezes mais caros do que *ICEV*, no entanto, progresso está sendo feito para reduzir custos.

Outro fator econômico que influencia o sucesso dos veículos elétricos e sua viabilidade é a taxa de depreciação. A taxa de depreciação é a diferença entre o preço inicial e o preço de revenda de um produto após um tempo (HAGMAN *et al.*, 2016). Os custos relacionados à infraestrutura também são um importante fator econômico que afeta a viabilidade da cadeia dos veículos elétricos. Os custos de construção e operação das infraestruturas referem-se aos custos associados aos pontos de carregamento de eletricidade ou abastecimento de hidrogênio. Uma variável central na implantação de infraestrutura de carregamento para carros elétricos está relacionada aos custos de investimento, já que não se restringem aos próprios postos, mas também estão presentes na necessária adequação da rede por onde circula a energia, além, é claro, de vários custos de operação e manutenção (DELGADO *et al.*, 2017). Operar postos de abastecimento de hidrogênio, por exemplo, requerem vários tipos de custos variáveis, como custo de capital, custos operacionais, custo de mão de obra, custo de construção ou espaço físico, custo de seguro e custo de manutenção (BAI; ZHANG, Long, 2020). Em relação ao carregador ultrarrápido, apesar da comodidade de carregar a bateria dos veículos elétricos em um tempo bem menor que os demais níveis, os custos exigidos na adoção dessa infraestrutura também são maiores (DELGADO *et al.*, 2017).

#### **2.6.4 Fatores de *marketing***

As estratégias de *marketing* também são influenciadores importantes para a adoção dos veículos elétricos. Higuera-Castillo *et al.* (2019) recomendam que sejam adotadas estratégias para promover os veículos elétricos, como estratégias de *marketing* social e *marketing* de produto, com base nos sentimentos dos usuários/condutores. Da mesma forma, os autores comentam que as estratégias de *marketing* precisam enfatizar os atributos específicos do produto, consumo, energia e desempenho, como exemplo. Segundo Kaa *et al.* (2017) as comunicações de *marketing* têm um efeito positivo na base instalada, com isso as empresas podem buscar campanhas de *marketing* e, assim, aumentar a base instalada esperada e percebida. O esforço de *marketing* representa a força de promover um *powertrain* e

alimenta a conscientização do usuário (HARRISON; GÓMEZ VILCHEZ; THIEL, 2018).

Em muitos países, as estratégias de *marketing*, para promoção dos veículos elétricos podem ter sido demasiadas e com viés na escolha de remoção dos ICEVs. Muitos países inclusive anunciaram datas para o fim do uso de ICEVs, o que pode ter sido precipitado.

O apoio na venda de veículos também é importante e pode influenciar na decisão de adotar ou não um veículo. Quanto ao apoio à venda, é importante que o vendedor disponha de um conjunto de informações sobre produtos e serviços de apoio (descontos, carregadores, infraestruturas de carregamento, tarifas de eletricidade, etc.). A desinformação é identificada como uma importante barreira no ponto de venda (MATTHEWS *et al.*, 2017).

A disponibilidade de um veículo elétrico no local é apontada por alguns autores como um elemento importante na venda do veículo. Refere-se à falta de modelos de veículos elétricos no local para visualização ou teste, além da demora para o recebimento do veículo (MATTHEWS *et al.*, 2017). Uma concessionária de carros elétricos próxima também é um fator que pode influenciar a intenção de compra (INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019).

A reputação e credibilidade da marca sempre foram um aspecto extremamente importante na indústria automotiva (KAA, VAN DE *et al.*, 2017). A reputação e a credibilidade de uma empresa são importantes, pois, podem afetar a intenção das pessoas de adotar padrões. As imagens de marca têm influências dominantes nas percepções do consumidor (REN, J., 2018).

O serviço pós-venda/conveniência para manutenção também desempenham um papel fundamental no sucesso dos veículos elétricos. O serviço pós-venda refere-se a todos os serviços prestados aos consumidores após a venda, ou seja, guias tecnológicos, respostas a reclamações de consumidores e visitas por telefone/domicílio, etc (REN, J., 2018). A conveniência de manutenção refere-se à acessibilidade de manutenção para os veículos (REN, J., 2018). Chhikara *et al.* (2021) em estudo realizado para o cenário indiano, constataram que os proprietários se preocupavam com a falta de mão de obra qualificada para os centros de atendimento e pós-venda. Além disso, o longo prazo de entrega das peças de reposição é um item que dificulta a manutenção (WAŹTRÓBSKI *et al.*, 2017).

### 2.6.5 Fatores ambientais

As emissões durante o ciclo de vida do veículo elétrico/combustível é um FCS importante a ser considerado. A eletricidade/combustível gerada a partir de fontes renováveis e com baixas emissões é um ponto considerado essencial por muitos pesquisadores para justificar a substituição dos sistemas de *powertrain*.

No entanto, a maior difusão dos veículos elétricos levaria a um aumento na procura de eletricidade neste contexto, provocando um aumento do consumo de carvão (dependendo da matriz energética), levando a um maior nível de emissões do poço à roda (BRAJTERMAN, 2016). Rodriguez *et al.* (2019) estudaram até que ponto os sistemas fotovoltaicos podem contribuir para o carregamento dos veículos elétricos na Holanda, Noruega, Brasil e Austrália. Verificou-se que em países com alta irradiação, ao longo do ano, como Brasil e Austrália, os veículos elétricos movidos à energia solar fotovoltaica podem ser operados com mais eficiência do que em países com alta variabilidade de irradiação ao longo do ano, como Holanda e Noruega. O carregamento fotovoltaico também pode reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> dos veículos elétricos em 91-93% em comparação com os *ICEVs*, dependendo da localização.

A reciclagem da bateria dos veículos elétricos é outro ponto fundamental que merece atenção considerável em relação aos impactos ambientais. A demanda por reciclagem de baterias dos veículos elétricos crescerá proporcionalmente ao crescimento do número de vendas de veículos. A vida útil da bateria é de cerca de 8 anos e depois disso ela precisa ser reciclada (TANG *et al.*, 2019). Com os desafios de fabricação, a quantidade crescente de baterias de íons de lítio desperdiçadas está se tornando um problema urgente a ser resolvido para proteger o meio ambiente da poluição, economizar recursos naturais da mineração e evitar riscos à segurança dos seres humanos (MOSSALI *et al.*, 2020). A reciclagem de baterias também ajuda a economizar recursos e proteger o meio ambiente (SIQI *et al.*, 2019). As baterias dos veículos elétricos são uma fonte atraente de metais de importância estratégica e econômica (LEON; MILLER, 2020). O lítio e o cobalto presentes nas baterias são “estratégicos” devido à sua importância nas tecnologias verdes emergentes, também críticos devido ao aumento do risco de interrupção do fornecimento resultante da concentração geográfica da oferta, baixa substituíbilidade e baixas taxas de reciclagem (LEON; MILLER, 2020). A atual infraestrutura de

reciclagem é bastante limitada para o lítio e o cobalto. Ainda, com o aumento pela demanda dos veículos elétricos pode-se enfrentar escassez de lítio, para produção de novas baterias, e conseqüente aumento dos preços (WORLD ECONOMIC FORUM, 2022). Desenvolvimentos futuros com baterias, materiais alternativos ou métodos de fabricação podem eventualmente aliviar a escassez de lítio.

Além da reciclagem, a remanufatura ou reutilização também são alternativas viáveis. Ao remover as células afetadas da bateria e realocá-la adequadamente, é possível recondicionar a bateria e disponibilizá-la para outras aplicações na indústria de veículos elétricos (STAMPATORI; RAIMONDI; NOUSSAN, 2020). O reaproveitamento é a ideia de que menos de 80% do desempenho não é adequado para aplicação no veículo elétrico, mas pode ser uma solução adequada para aplicações alternativas, especialmente para armazenamento estacionário.



### 3 METODOLOGIA

Esse capítulo é composto por duas subseções, uma destinada a descrever o enquadramento metodológico (3.1), e a segunda para expor o desenvolvimento da pesquisa (3.2).

#### 3.1 ENQUADRAMENTO METODOLÓGICO

A metodologia científica busca a verdade num processo de pesquisa ou aquisição de conhecimento, um caminho que utiliza procedimentos científicos, racionais e critérios normalizados e aceitos pela ciência (MICHEL, 2015). Neste sentido o enquadramento metodológico a ser utilizado neste estudo é apresentado no Quadro 4.

Quadro 4- Enquadramento metodológico

| <b>Classificação</b>   | <b>Enquadramento</b>       |
|------------------------|----------------------------|
| Natureza               | Aplicada                   |
| Abordagem              | Qualitativa e quantitativa |
| Método Científico      | Indutivo                   |
| Objetivos              | Exploratório               |
|                        | Descritivo                 |
| Procedimentos técnicos | Bibliográfico              |
|                        | Documental                 |

Fonte: Autor.

A natureza da pesquisa se caracteriza por ser aplicada, ou seja, seus resultados são voltados à aplicação prática. O objetivo é gerar conhecimentos dirigidos à solução de problemas específicos (MATIAS-PEREIRA, 2016). Contudo, uma pesquisa pode ser pura num primeiro momento e aplicada depois, já que as teorias só têm sentido se são capazes de serem aplicadas em determinados estudos empíricos, até mesmo sob a forma de intervenção (FILHO; ARRUDA, 2015).

Quanto à abordagem este estudo pode ser classificado como qualitativo e quantitativo. A pesquisa qualitativa não tem preocupação com a representatividade numérica, mas sim com o aprofundamento da compreensão de um cenário, de uma organização ou grupo social, etc (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Já em uma pesquisa quantitativa a tendência é enfatizar o raciocínio dedutivo, os atributos

mensuráveis, as regras da lógica da experiência humana. Uma pesquisa quantitativa tenta fazer uma mensuração precisa de algo (COOPER, DONALD; SCHINDLER, 2016).

Em relação ao método científico, este pode ser enquadrado como indutivo. O método científico indutivo é um processo mental por intermédio do qual, partindo de dados particulares, suficientemente constatados, infere-se uma verdade geral ou universal, não contida nas partes examinadas (LAKATOS, 2017). Observa-se que a característica principal do método da indução é a argumentação, enquanto a do método da dedução é a observação (MATIAS-PEREIRA, 2016).

Quanto aos objetivos esta pesquisa é exploratória e descritiva. A pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema, com vista a torná-lo explícito ou a construir hipóteses (levantamentos bibliográficos, buscas de *web sites*) (FILHO; ARRUDA, 2015). Já a pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população ou fenômeno, ou o estabelecimento de relações entre variáveis (FILHO; ARRUDA, 2015).

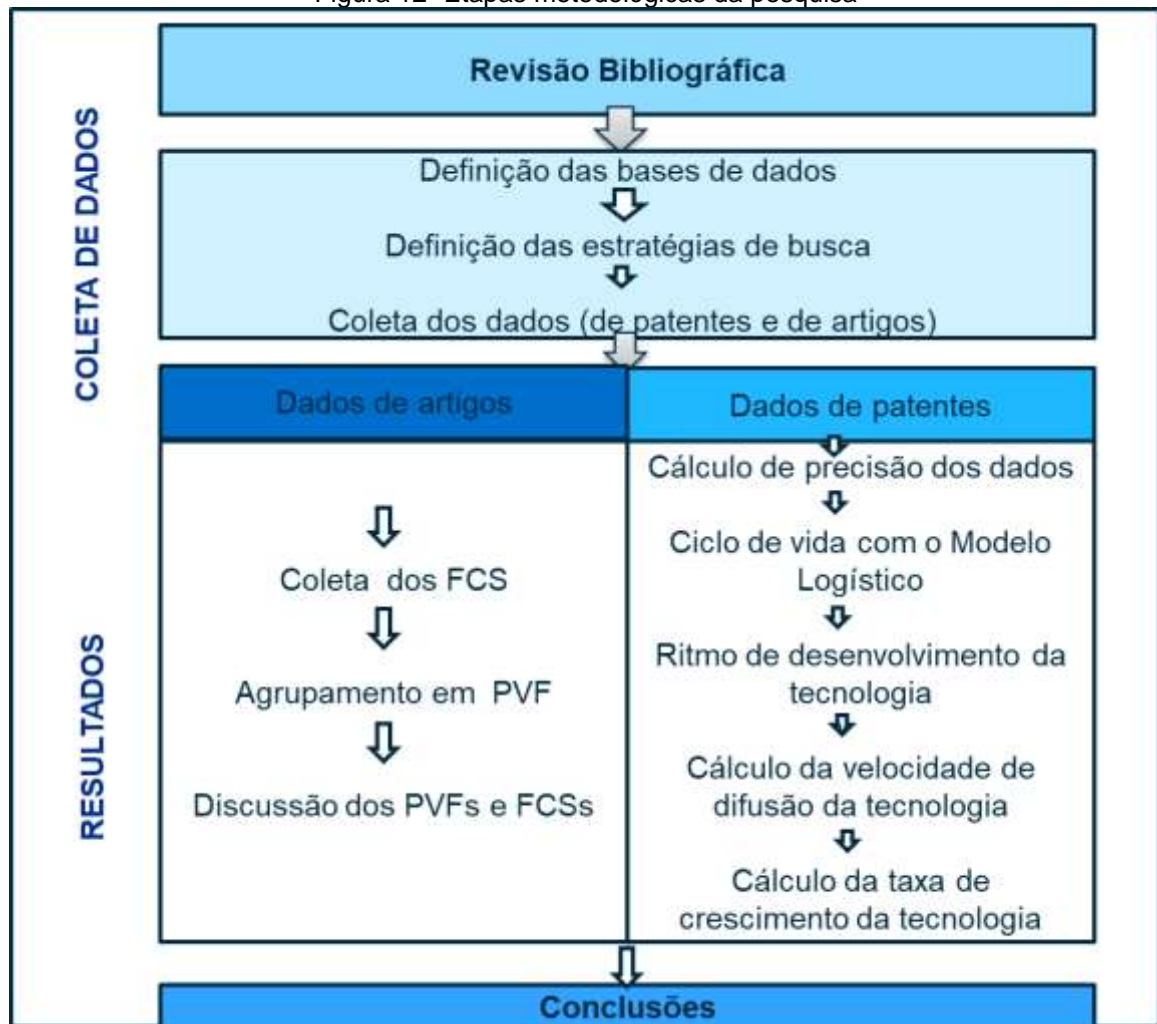
Em relação aos procedimentos técnicos a pesquisa é bibliográfica e documental. A pesquisa documental baseia-se em documentos, como, por exemplo, livros, revistas, mapas, fotografias, etc. (APPOLINÁRIO, 2016). A pesquisa bibliográfica acontece quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e, atualmente, com material disponibilizado na *internet* (FILHO; ARRUDA, 2015).

### 3.2 DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

A Figura 12 apresenta as etapas metodológicas para o desenvolvimento da pesquisa, que são quatro principais etapas: (1) revisão bibliográfica, (2) coleta de dados, (3) resultados e (4) conclusões.

A primeira etapa, denominada de revisão bibliográfica foi cumprida por meio do referencial teórico, apresentado na seção 2. Para realização da revisão bibliográfica foi utilizado o Portal de Periódicos Capes (Coordenação de Pessoal de Nível Superior), de modo a realizar todo o embasamento necessário.

Figura 12- Etapas metodológicas da pesquisa



Fonte: O autor.

Na segunda etapa, denominada de Coleta de dados, as estratégias de busca foram definidas, as bases de dados foram escolhidas e por fim as informações foram coletadas e armazenadas em planilhas do Microsoft Excel. Os dados de patentes foram coletados e também de artigos científicos. As estratégias de busca para os dados de patentes foram definidas pela combinação de palavras-chave (no título e resumo) e códigos IPCs, conforme apresentado no Quadro 5. As palavras-chave selecionadas e também os códigos IPCs foram baseados nos estudos de Aldering, Leker e Song (2019); Borgstedt, Neyer e Schewe (2017); Oltra (2009). A descrição de qual tecnologia refere-se cada um dos códigos IPCs pode ser consultado no Anexo B. Os dados foram coletados para patentes publicadas no USPTO (*United States Patent and Trademark Office*) e EPO (*European Patent Office*). Os dados de patentes foram coletados nessas bases por se tratar dos principais mercados

automotivos mundiais. Os dados de patentes foram selecionados por meio do Orbit, que é uma plataforma comercial utilizada para buscar e analisar os dados. O acesso ao Orbit ocorreu através da PROINOVA (Pró-Reitoria de Inovação e Empreendedorismo) da UFSM. Os dados das famílias de patentes foram recuperados para o período de 1982-2020. Como o USPTO iniciou em 1968 e o EPO em 1978, o período escolhido foi logo em seguida, em 1982, também devido ao tempo entre o depósito e a publicação das patentes. Foi escolhido até o ano de 2020, pois, os dados das patentes de 2021 e 2022 podem ainda não estarem completos, também pelo fato do tempo transcorrido entre o depósito e a publicação das patentes, que são de aproximadamente 2 anos.

Ainda na etapa de coleta de dados de famílias de patentes, verificou-se a precisão da pesquisa realizada, onde cerca de 4% do conjunto de patentes foram verificados manualmente e aleatoriamente, para cada uma das estratégias de busca. No estudo de Yuan e Li (2021) 4% das patentes também foram verificadas aleatoriamente, para um conjunto total de patentes similar a deste trabalho. No estudo de Borgstedt, Neyer e Schewe (2017) 5,26% das famílias de patentes também foram verificados aleatoriamente por tecnologia para validar os dados, para um conjunto de 91082 patentes. O conjunto de dados total das famílias de patentes, no presente estudo, para todas as estratégias, foi de 30833. Foram verificadas 1236 famílias de patentes, distribuídas proporcionalmente por cada tecnologia. A validade das estratégias de busca foi de aproximadamente 92%, o que está de acordo com os resultados de Borgstedt, Neyer e Schewe (2017), que dizem que se trata de um bom resultado. As patentes foram consideradas válidas apenas se a reivindicação contivesse a tecnologia categorizada e a possibilidade de uso automotivo. Com a precisão dos dados comprovada, então a coleta foi executada, armazenando os dados em uma planilha do Microsoft Excel. Os dados armazenados foram o número de patentes publicadas por ano, os países de prioridade das patentes e as empresas detentoras.

Quanto à definição da estratégia de busca e coleta de dados de artigos, as bases de dados escolhidas foram a Scopus e Web of Science. Diversas palavras-chave foram testadas nas bases de dados, até a definição de uma estratégia de pesquisa mais alinhada com o assunto pretendido. As palavras-chave definidas foram: *((factor\* or key) and (success\*) and ("electric vehicle" or "fuel cell vehicle")) and ("introduction" or "demand" or "development" or "diffusion" or "adoption" or*

"implementation" or "dissemination" or "penetration" or "purchase" or "sale" or "acquisition"). As palavras-chaves foram buscadas no título, resumo e palavras-chave, com o idioma inglês. A palavra-chave "electric vehicle\*" foi testada nas bases de dados e qualificada para capturar estudos referentes aos seguintes tipos de veículos: veículos elétricos híbridos, veículos elétricos híbridos *plug-in* e veículos elétricos a bateria. Além disso, operadores booleanos como "and" foram usados para combinar termos e o operador "or" para capturar sinônimos e aumentar a sensibilidade da pesquisa. O truncamento "\*" também foi utilizado para captar variações na ortografia das palavras. Os tipos de documentos coletados foram artigos de periódicos, revisões e artigos de conferências.

Quadro 5- Estratégias de buscas para as famílias de patentes

| <b>Campo da tecnologia</b>                         | <b>Estratégia de pesquisa</b>   |
|--|---|
| <i>Hybrid electric vehicles (HEVs)</i>             | <i>Title, Abstract= (hybrid and electric and (vehicle* or car or automobile*)) and IPC=(B60K-006 or B60W-020 or B60I-007/20)</i>  |
| <i>Battery electric vehicles (BEVs)</i>            | <i>Title, Abstract= (battery and electric and (vehicle* or car or automobile*)) and IPC= (B60L-011 or B60L-003 or B60L-015 or B60K-001 or B60W-010/08 or B60W-010/24 or B60W-010/26)</i>                  |
| <i>Fuel cell electric vehicles (FCVs)</i>          | <i>Title, Abstract= (fuel cell* and (vehicle* or car or automobile*)) and IPC= (B60L-058/40 or H01M-008/00 or B60L-050/00 or B60K-001/00 or B60L-003/00 or H01M-010/00 or H01M-004/00 or H01M-002/00)</i> |
| <i>Internal combustion engine vehicles (ICEVs)</i> | <i>Title, Abstract= (internal combustion engine and (vehicle* or car or automobile*)) and IPC= (F02B or F02D or F02F or F02M or F02N or F02P)</i>   |

Fonte: Autor.

Na terceira etapa denominada de Resultados, os dados coletados na etapa anterior foram processados e analisados. Os dados de patentes obtidos em duas bases de dados (USPTO e EPO) foram utilizados para traçar o ciclo de vida da tecnologia, com o Modelo Logístico, para as quatro estratégias de busca apresentadas no Quadro 5. O *software* gratuito Loglet Lab 4 foi utilizado para a construção dos ciclos de vida para cada tecnologia, com dados do número cumulativo de famílias de patentes publicadas por ano. O número cumulativo de patentes é o somatório das patentes publicadas até o ano analisado. As curvas do ciclo de vida da tecnologia, para cada um dos sistemas de *powertrain*, com os dados estimados, foram ainda comparadas com os dados reais, para o período de 1982 até 2020, com o intuito de validar o modelo.

Para verificar se o modelo construído possui um ajuste ótimo da curva adotou-se o valor de R quadrado, MAD e MAPE, com as Equações 1 e 2 respectivamente. Para cada uma das tecnologias, ainda foram calculados o TMR, ERL e PPA com as Equações 4, 5 e 6. Ainda, a partir das Equações 7 e 8 a velocidade de difusão da tecnologia foi analisada e a taxa de crescimento da tecnologia. A velocidade de difusão da tecnologia e a taxa de crescimento foram analisadas para cada uma das tecnologias (*ICEV*, *BEV*, *FCEV* e *HEV*) e para cada uma das bases de dados (*USPTO* e *EPO*).

Quanto aos dados de artigos, através de uma revisão sistemática, 801 artigos foram coletados. A condução da revisão sistemática foi baseada nos estudos de Medeiros, Ribeiro e Cortimiglia (2014); Rigo *et al.* (2019); Tranfield, Denyer e Smart (2003). Através da leitura do título e do resumo dos artigos, foram selecionados 122 artigos que realmente apresentavam discussões sobre fatores que afetam a difusão e o sucesso dos veículos elétricos. Os 122 estudos foram lidos e coletaram-se os FCS que afetam a difusão de veículos elétricos. Durante a leitura completa dos documentos recuperados, todos os aspectos fortemente identificados com a disseminação dos veículos elétricos e que podem ser avaliados qualitativa ou quantitativamente foram identificados e definidos como FCS. Ou seja, aspectos que influenciam a difusão e adoção dos veículos elétricos nos mais variados cenários. Os FCS mencionados em cada um dos artigos foram armazenados em uma planilha do Microsoft Excel. Com base no número de artigos que mencionam cada um dos FCS podem-se visualizar os fatores mais frequentes na literatura. Ainda se analisou a distribuição geográfica dos artigos selecionados, visando mostrar os principais cenários estudados na literatura. Depois de realizada a coleta dos FCS, os fatores foram separados em PVFs, ou seja, agrupados em categorias, através de uma hierarquia, onde os PVFs são o primeiro nível e os FCSs o segundo nível, que pode ser encontrado na seção 4.5. Os PVFs foram discutidos com base no cenário internacional estabelecido, na seção 4.5.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os principais resultados e discussões através das seguintes subseções: 4.1- estimativa do ciclo de vida da tecnologia; 4.2- estimativa de velocidade de difusão da tecnologia; 4.3- estimativa da taxa de crescimento da tecnologia e 4.4- fatores críticos para o sucesso dos veículos elétricos.

### 4.1 ESTIMATIVA DA TAXA DE CRESCIMENTO DA TECNOLOGIA

O conjunto de dados de famílias de patentes foi verificado, manualmente e aleatoriamente, para atestar a precisão de todas as estratégias de buscas. Do conjunto total de 30833 famílias de patentes, 4% (1236 documentos) destas foram verificadas, distribuídas por cada tecnologia, conforme o Quadro 6. A validade das estratégias de busca foi de aproximadamente 92%, ou seja, com 8% de patentes que não representavam as tecnologias buscadas. Outro fator que ajudou a garantir a validade dos dados analisados foi o uso de códigos IPCs na estratégia de busca.

Quadro 6- Número total de famílias de patentes por tecnologia e base de dados

| Tecnologia  | Base de dados | Número total de patentes | Número de patentes verificadas manualmente |
|-------------|---------------|--------------------------|--|
| <i>ICEV</i> | USPTO         | 7915                     | 317  |
| <i>ICEV</i> | EPO           | 5288                     | 212  |
| <i>HEV</i>  | USPTO         | 4682                     | 188  |
| <i>HEV</i>  | EPO           | 2166                     | 87   |
| <i>BEV</i>  | USPTO         | 5995                     | 240  |
| <i>BEV</i>  | EPO           | 3021                     | 121  |
| <i>FCEV</i> | USPTO         | 1273                     | 51   |
| <i>FCEV</i> | EPO           | 493                      | 20   |
| Total       |               | 30833                    | 1236                                       |

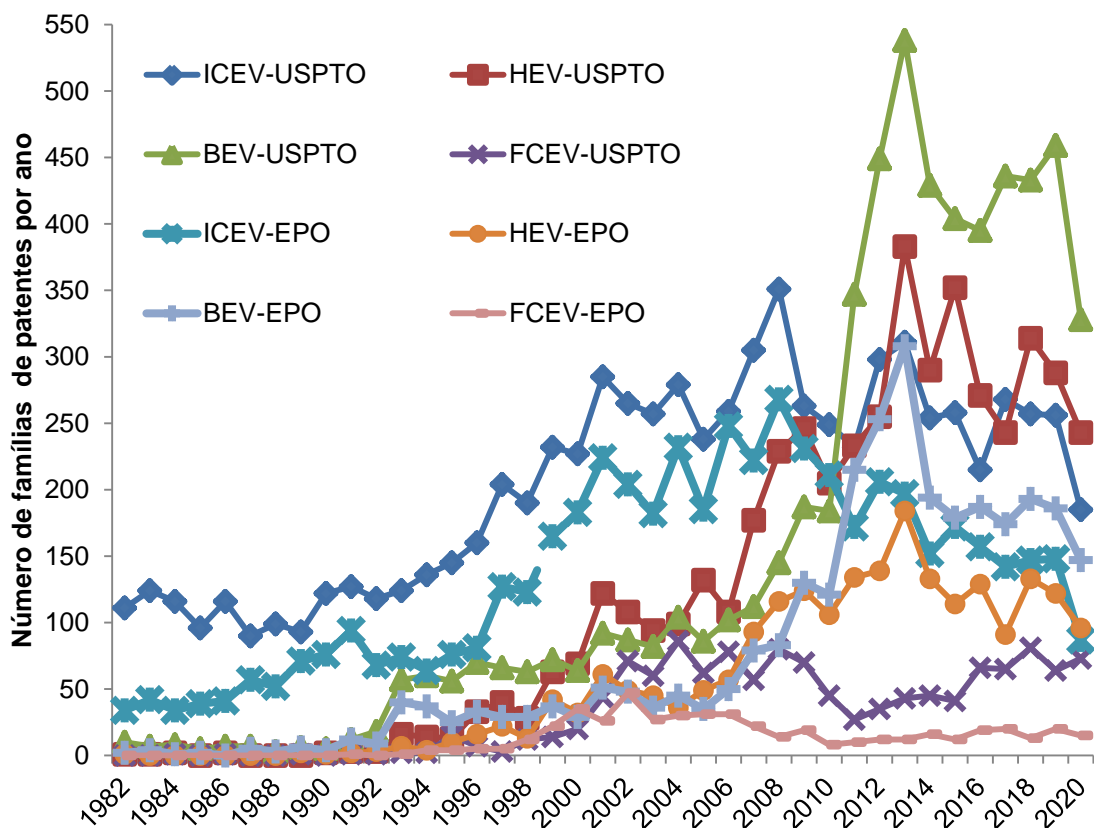
Fonte: Autor.

Na Figura 13 é apresentado o número de famílias de patentes publicadas anualmente por tecnologia (*ICEV*, *HEV*, *BEV* e *FCEV*) e por base de dados (USPTO e EPO). Percebe-se que até o ano de 2010 a tecnologia com maior número de patentes publicadas por ano foi a *ICEV*, porém, após essa data esse cenário sofreu

alterações, com as tecnologias *BEV* e *HEV* em ascensão. Enquanto a tecnologia *FCEV* em quase todo período analisado permaneceu com o menor número de patentes publicadas por ano. No ano de 2020 houve um decréscimo no número de patentes publicadas em todas as tecnologias, exceto para a *FCEV- USPTO*.

A pandemia do COVID-19, que ocorreu nos anos 2020, 2021 e 2022, e que pode ter causado alterações nas atividades de P&D, possivelmente não afetou os dados publicados em 2020 e que são apresentados nas Figuras 13 e 14. Tal constatação deve-se ao fato de que as patentes demoram cerca de dois anos para tornarem-se públicas, então podendo ter causado algum impacto nos dados de 2021, 2022 e 2023.

Figura 13- Número de famílias de patentes publicadas por tecnologia e base de dados

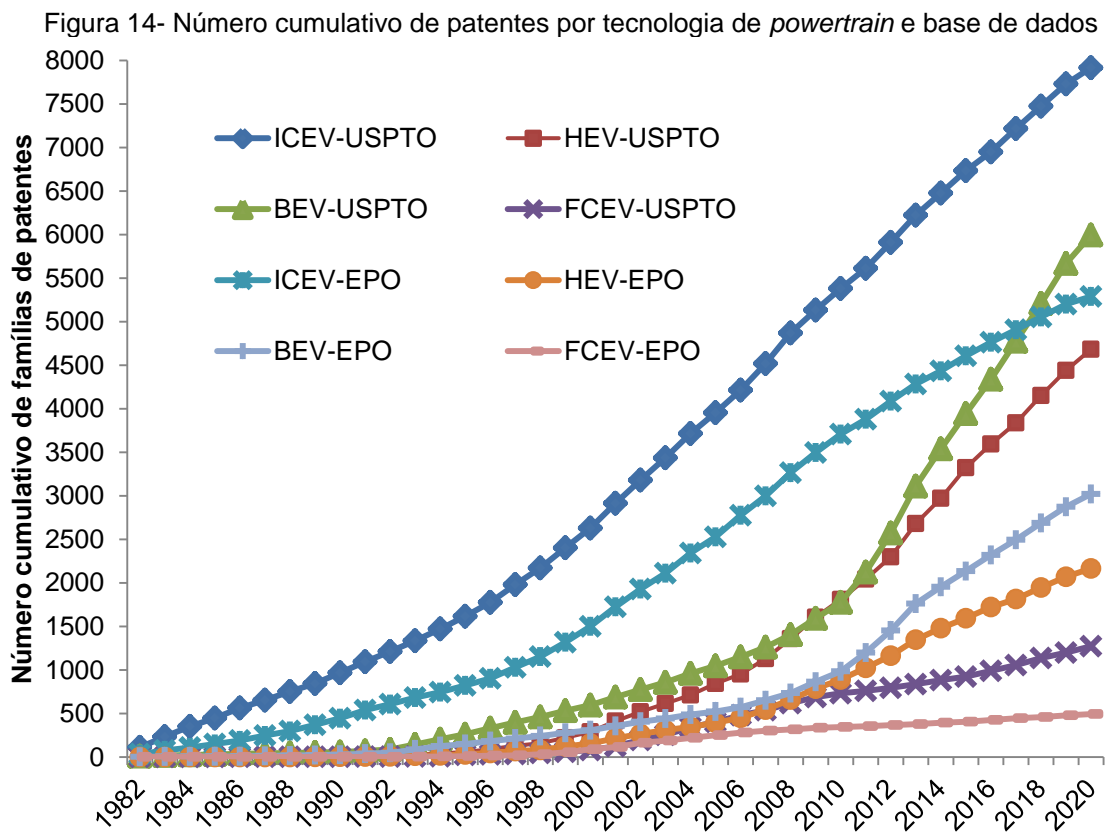


Fonte: Autor.

Na Figura 14, apresenta-se o número cumulativo de famílias de patentes publicadas por tecnologia e também por base de dados. A tecnologia com maior número cumulativo de patentes publicadas é a *ICEV*, visto que se trata da tecnologia predominante nos veículos comerciais. Percebe-se, na Figura 15, um acentuado



aumento no número cumulativo de patentes para a tecnologia *BEV-USPTO*, após o ano de 2011. A segunda tecnologia com maior número cumulativo de famílias de patentes é a *BEV* e a terceira tecnologia trata-se da *HEV*. Entre os dados de número cumulativo de patentes, para cada base de dados, as pesquisas na base do USPTO apresentaram maior número de patentes. Tal constatação talvez possa se justificar pelo tamanho do mercado automotivo dos Estados Unidos, que é o segundo em vendas de veículos, apenas atrás da China. A cultura de patentes nos Estados Unidos também pode ser um fator que influencia a diferença no número de patentes entre as bases de dados consideradas.

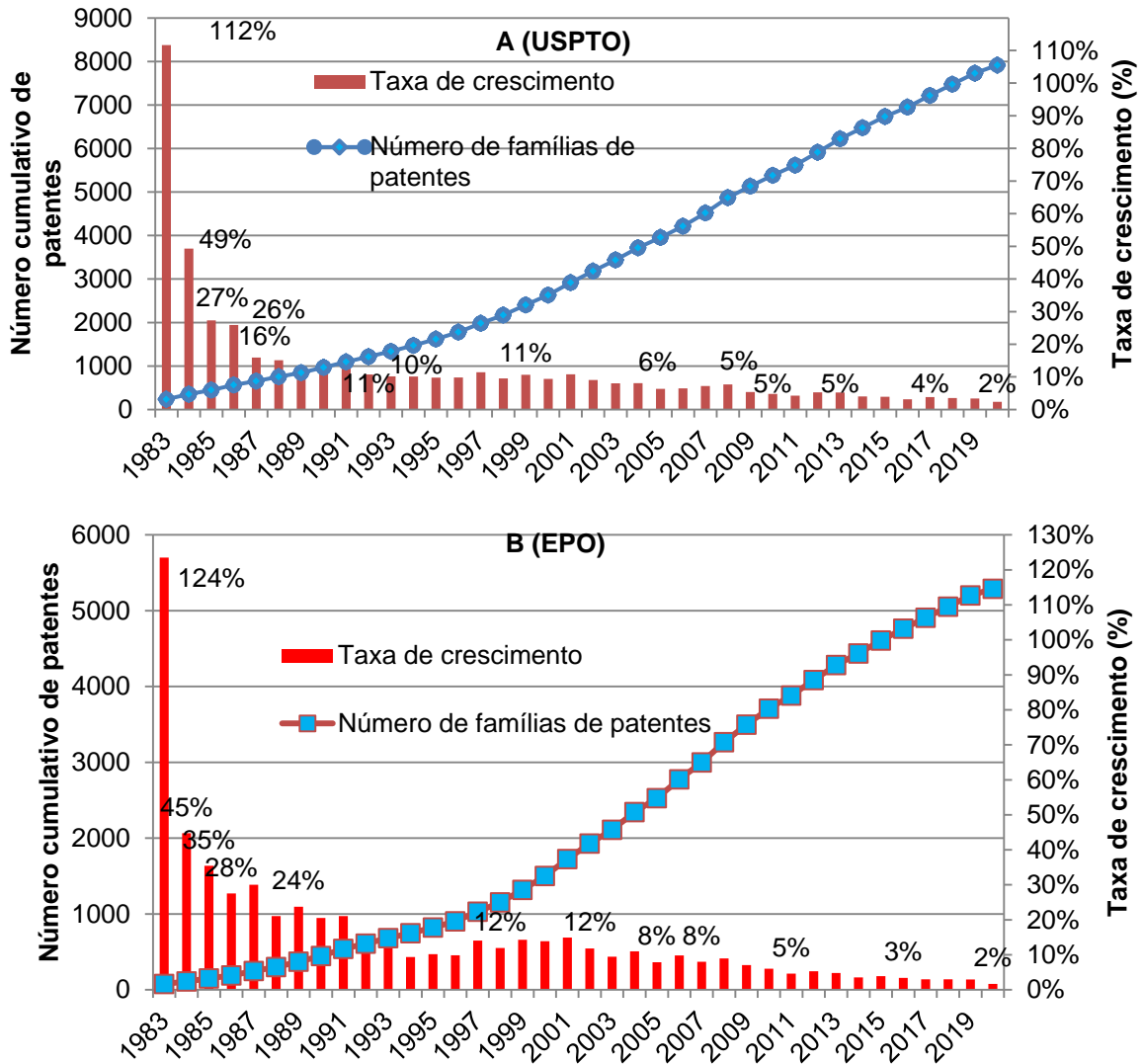


Fonte: Autor.

Nas Figuras 15 e 16 são apresentadas as taxas de crescimento para cada uma das tecnologias de *powertrain* analisadas. As taxas de crescimento foram calculadas com a Equação 8. Na figura 15 é apresentada a taxa de crescimento da tecnologia para os *ICEVs*, onde se percebe que em 2020 a taxa foi de 2% para os dados do USPTO e também para do EPO. Em 2019 a taxa de crescimento foi de 3% para os dados do USPTO e também do EPO. Conforme a Figura 15 a tecnologia

ICEV apresenta uma tendência de diminuição da taxa de crescimento com o passar do tempo. Entre os anos de 1997-2005, aproximadamente, percebe-se que a curva do número cumulativo de famílias de patentes obteve uma inclinação maior, com uma taxa de crescimento de cerca de 11%.

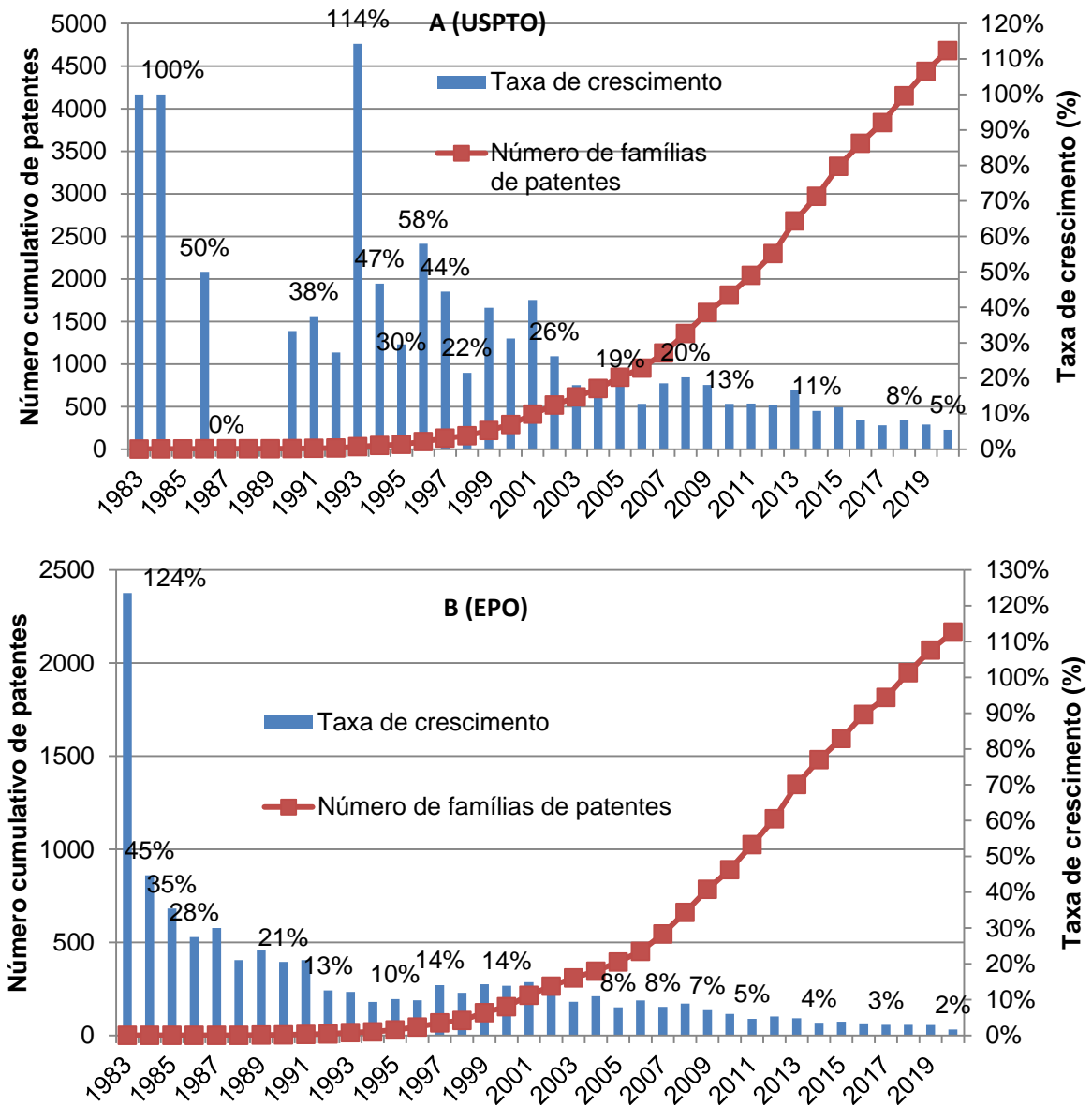
Figura 15- Taxa de crescimento da tecnologia para os ICEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)



Fonte: Autor.

Na Figura 16 é apresentada a taxa de crescimento para a tecnologia dos HEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B). Em 2020 a taxa de crescimento com os dados do USPTO foi de 5% e com os dados do EPO foi de 2%. No ano de 2019 a taxa de crescimento foi de 7% para os dados do USPTO e de 3% com os dados do EPO.

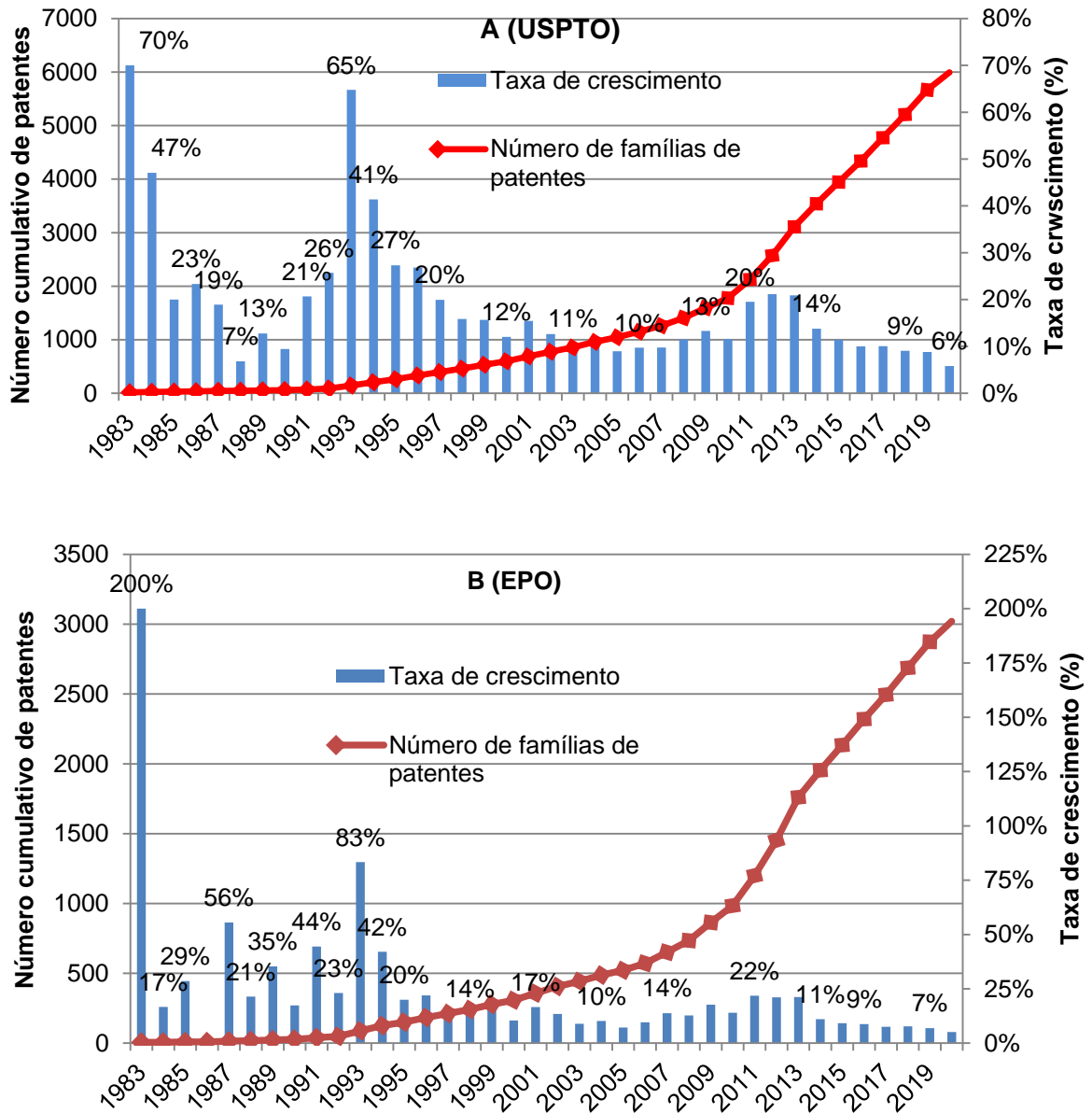
Figura 16- Taxa de crescimento da tecnologia para os HEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)



Fonte: Autor.

Ao analisar os dados dos BEVs para o ano de 2020, a taxa de crescimento foi de 6% com os dados do USPTO e de 5% com os dados do EPO, conforme Figura 17. Em 2019 a taxa de crescimento foi de 9%, com os dados do USPTO, e de 7% com os dados do EPO.

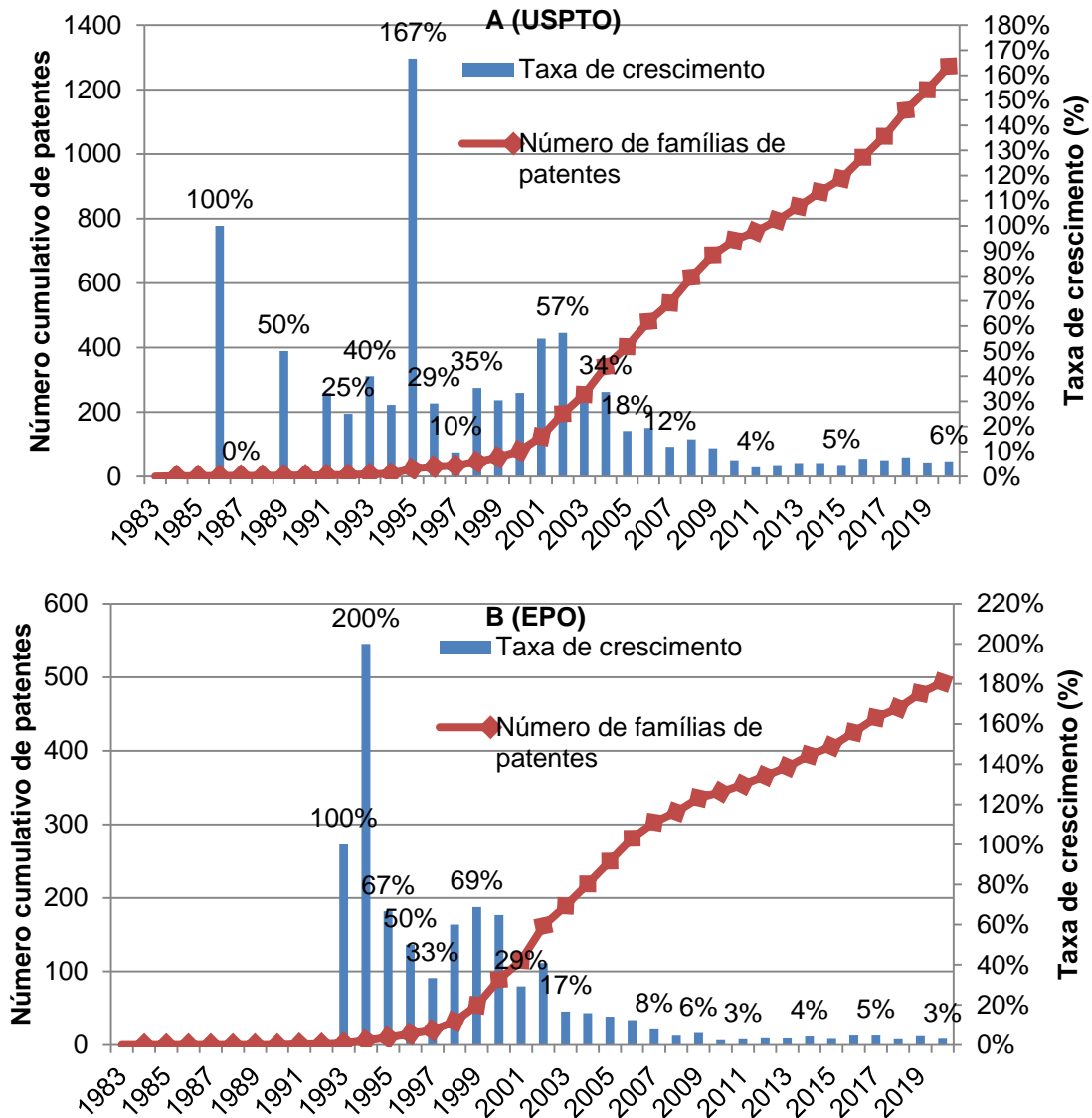
Figura 17- Taxa de crescimento da tecnologia para os BEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)



Fonte: Autor.

Para os FCEVs, Figura 18, a taxa de crescimento foi de 6% com os dados do USPTO, e de 3% com os dados do EPO. Comparando as Figuras 15, 16, 17 e 18 percebe-se que a tecnologia com maior taxa de crescimento, em 2020, é a dos BEVs, com aproximadamente 6%, enquanto a tecnologia com menor taxa de crescimento é a dos ICEVs, com cerca de 2%.

Figura 18- Taxa de crescimento da tecnologia para os FCEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)



Fonte: Autor.

#### 4.2 ESTIMATIVA DO CICLO DE VIDA DA TECNOLOGIA

Com o *software* livre Loglet Lab 4, e com o uso do modelo logístico foram traçadas as curvas do ciclo de vida tecnológico para cada sistema de *powertrain*. Nas Figuras 20, 21, 22 e 23 são apresentadas as estimativas de curvas.

No Quadro 6, são apresentadas as taxas de maturidade tecnológica para cada tecnologia e base de dados. O tempo restante estimado para a saturação foi calculado com a Equação 5. A tecnologia mais próxima da saturação é a *FCEV*, com saturação prevista para 2022 com dados do *EPO* e 2029 com os dados do *USPTO*,

comparado com as demais tecnologias de *powertrain*. No Quadro 7 são apresentados os números de patentes esperados no momento da saturação. Caso a pesquisa for refeita, no ano previsto para a saturação, é esperado que o número de patentes para aquele momento seja o apresentado no Quadro 7, na coluna do fator K.

No período estimado para a saturação não significa que as tecnologias deixarão de serem comercializadas. Quem desenvolve uma tecnologia e solicita o requerimento de patente possui a intenção de vendê-la em seguida, e então obter retorno para seu investimento em P&D. Logo o que for desenvolvido próximo ao período de saturação poderá ser visualizado nos veículos anos depois.

Quadro 7- Projeções de saturação e dados estatísticos para cada tecnologia analisada

| Tecnologia | Base de dados de patentes | K     | Tempo restante estimado para a saturação (ERL) |      |      |      |      |
|------------|---------------------------|-------|--|------|------|------|------|
|            |                           |       | 1%   | 10%  | 50%  | 90%  | 99%  |
| ICEV       | USPTO                     | 9550  | 1971   | 1989 | 2008 | 2026 | 2045 |
| ICEV       | EPO                       | 5956  | 1977   | 1992 | 2007 | 2022 | 2037 |
| HEV        | USPTO                     | 6806  | 1992   | 2003 | 2014 | 2026 | 2037 |
| HEV        | EPO                       | 2626  | 1992   | 2002 | 2013 | 2024 | 2034 |
| BEV        | USPTO                     | 12702 | 1991   | 2006 | 2020 | 2035 | 2049 |
| BEV        | EPO                       | 4800  | 1991   | 2004 | 2017 | 2029 | 2042 |
| FCEVs      | USPTO                     | 1258  | 1989   | 1999 | 2009 | 2019 | 2029 |
| FCEVs      | EPO                       | 452   | 1988   | 1997 | 2005 | 2013 | 2022 |

Fonte: Autor.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) foi utilizado como uma medida que indica a qualidade do ajuste do modelo estatístico, quanto mais se aproxima do valor 1 melhor é o ajuste do valor, o que denota que as análises realizadas com as curvas de crescimento estão adequadas, conforme o Quadro 7. Também foram utilizados, para verificar se a curva logística se encontra com um ajuste adequado, o MAD e o MAPE, calculados com as Equações 1 e 2. Conforme o Quadro 8, com os dados do USPTO, a análise do MAPE, com a tecnologia *ICEV*, encontra-se com um ótimo ajuste da curva, pois, o valor é menor que 10%. Com as tecnologias *HEV* e *BEV* o ajuste se encontra com um bom valor, pois é menor que 20%, enquanto com a tecnologia *FCEV* encontra-se com um valor aceitável, pois, é menor que 50%. Com os dados coletados no EPO, o MAPE para a tecnologia *ICEV* ficou com um ótimo ajuste da curva logística (com valor menor que 10%), com as tecnologias *HEV* e *BEV* os ajustes foram considerados bons (com valor menor que 20%), com a

tecnologia *FCEV* o ajuste é considerado aceitável (com o valor menor que 50%). Levando em conta o MAD, para os dados coletados no USPTO e no EPO, as curvas da tecnologia HEV é que obtiveram o melhor ajuste da curva.

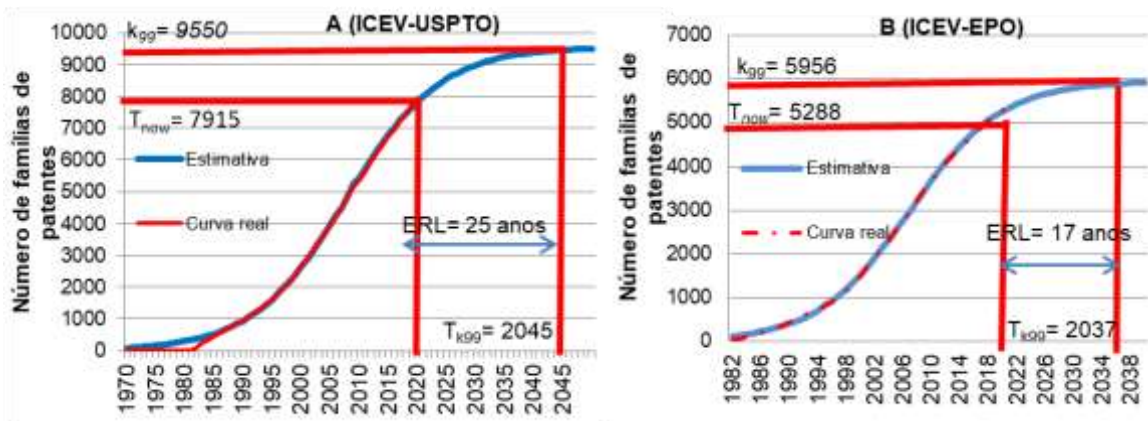
Quadro 8- Estimativa de Precisão do modelo Logístico

| Base de dados | Tecnologia  | MAD  | MAPE   | R <sup>2</sup> |
|---------------|-------------|------|--------|----------------|
| USPTO         | <i>ICEV</i> | 47,6 | 0,0509 | 0,983          |
| USPTO         | <i>HEV</i>  | 34,5 | 0,142  | 0,980          |
| USPTO         | <i>BEV</i>  | 103  | 0,128  | 0,985          |
| USPTO         | <i>FCEV</i> | 41,3 | 0,291  | 0,979          |
| EPO           | <i>ICEV</i> | 30   | 0,0729 | 0,986          |
| EPO           | <i>HEV</i>  | 16,9 | 0,125  | 0,986          |
| EPO           | <i>BEV</i>  | 60,7 | 0,181  | 0,984          |
| EPO           | <i>FCEV</i> | 18,5 | 0,240  | 0,950          |

Fonte: Autor.

Na Figura 19 é apresentado o ciclo de vida para a tecnologia *ICEV*, com os dados do USPTO (A) e com os dados do EPO (B). Percebe-se que com os dados do EPO a estimativa de saturação é para o ano de 2037, enquanto para os dados do USPTO, a saturação é estimada para o ano de 2045. A taxa de maturidade tecnológica, calculada com a Equação 4, é de 83% para *ICEV-USPTO* e de 89% para *ICEV-EPO*. O PPA foi calculado com a Equação 6 e apontou que 1635 famílias de patentes são esperadas até o ponto de saturação tecnológica, com os dados *ICEV-USPTO* e 668 documentos com os dados do *ICEV-EPO*. Na Figura 19 é apresentada uma curva com os dados reais, para o período 1982-2020, e a curva de estimativa de saturação. Como pode ser visto ambas as curvas possuem uma aproximação bastante similar.

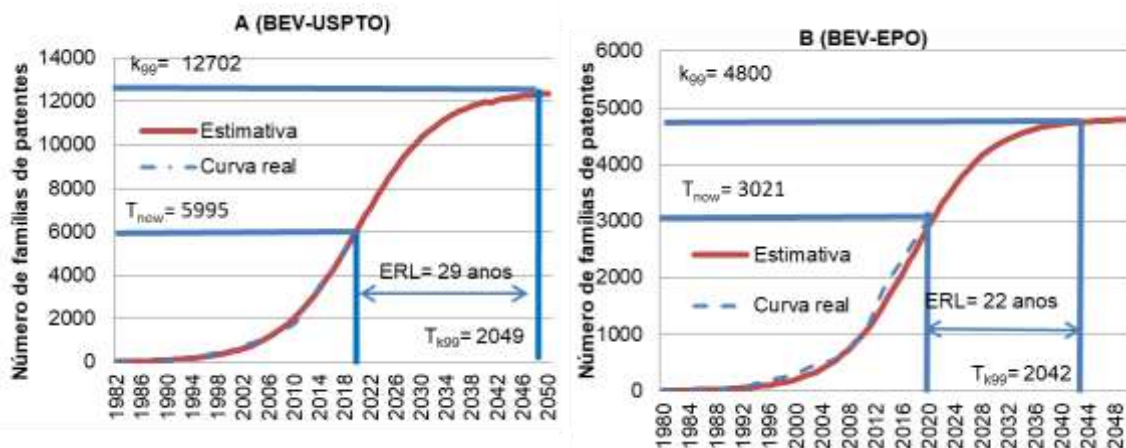
Figura 19- Ciclo de vida da tecnologia para os ICEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)



Fonte: Autor.

Na Figura 20, é mostrada a estimativa do ciclo de vida tecnológico para a tecnologia BEV, com os dados do USPTO (A) e com dados do EPO (B). A taxa de maturidade tecnológica para a tecnologia BEV foi de 47% com os dados do USPTO e de 63% com os dados do EPO. Portanto, com taxa de maturidade tecnológica mais elevada com os dados do EPO. Com PPA de 6707 famílias de patentes para os dados do USPTO e 1779 documentos no banco de dados EPO. Comparando as curvas reais com as estimativas de saturação, percebe-se que as curvas são semelhantes (Figura 20).

Figura 20-Ciclo de vida da tecnologia para os BEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)



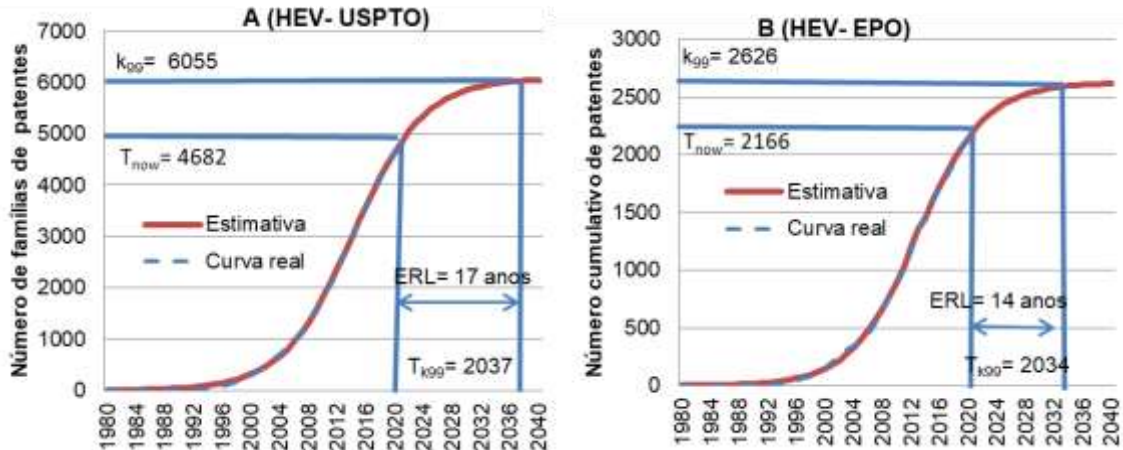
Fonte: Autor.

Quanto à estimativa para o ciclo de vida tecnológico dos HEV, na Figura 21 é apresentada para os dados do USPTO e EPO. A saturação é estimada para ser em



2037, com dados do USPTO, e em 2034, com os dados do EPO. A taxa de maturidade tecnológica para o ano de 2020 é de 82%, com os dados do EPO, e de 69% com os dados do USPTO. Comparando as curvas reais com as curvas de estimativa do ciclo de vida da tecnologia, percebe-se que os dados são semelhantes (Figura 21).

Figura 21- Ciclo de vida da tecnologia para os HEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)

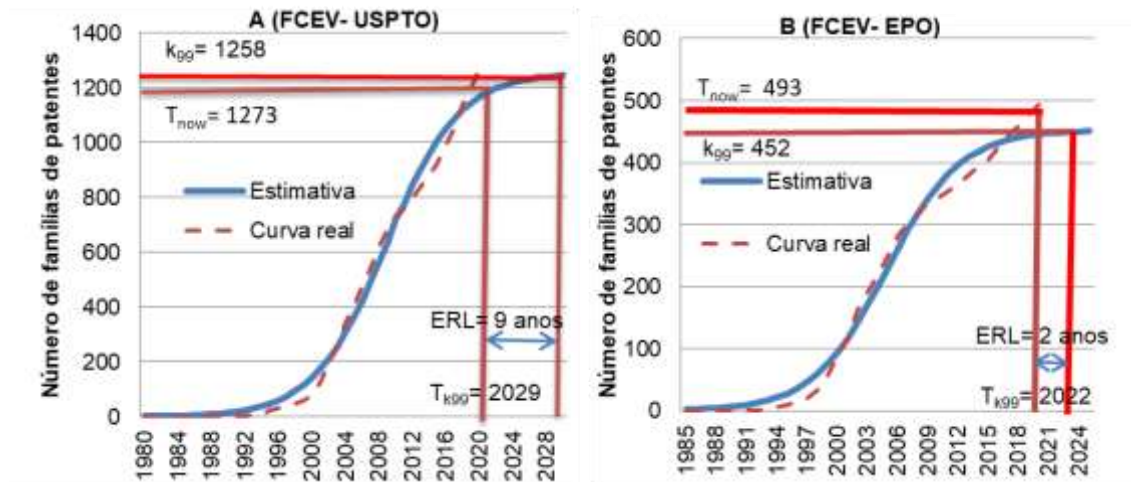


Fonte: Autor.

A tecnologia de *powertrain FCEV* é a que está mais perto da saturação, como é mostrado no ciclo de vida apresentado na Figura 22. É estimado que a saturação para os *FCEVs* ocorresse em 2022 com os dados do EPO e em 2029 com os dados do USPTO. A taxa de maturidade tecnológica é a mais alta, comparado com as outras tecnologias, com 98% para *FCEV-EPO* e 93% para *FCEV-USPTO*. Comparando as curvas reais e de estimativa do ciclo de vida, na Figura 22, percebe-se certo afastamento, o que pode indicar um nível maior de incerteza, em relação às curvas das demais tecnologias apresentadas (Figuras 19, 20, 21 e 22), que apresentaram boa aproximação.

Comparando todas as estimativas de ciclo de vida da tecnologia, das Figuras 19, 20, 21 e 22, nota-se que com os dados do EPO, em todas as análises, o período de saturação acontece antes que com os dados do USPTO. Tal constatação pode indicar que as empresas da Europa se encontram em um estágio de desenvolvimento mais avançado do que as empresas que depositam suas reivindicações no USPTO.

Figura 22- Ciclo de vida da tecnologia para os FCEVs, com dados do USPTO (A) e EPO (B)



Fonte: Autor.

Com mudanças nas legislações, incremento ou retirada de incentivos governamentais, a estimativa do ciclo de vida da tecnologia pode sofrer alterações, aumentando ou reduzindo o tempo estimado para a saturação. Os incentivos e investimentos podem encorajar ou desencorajar os pesquisadores para desenvolver uma determinada tecnologia. Entre diferentes países, pode haver variações no ciclo de vida da tecnologia, dependendo dos incentivos e investimentos realizados em cada local. As estimativas de ciclo de vida da tecnologia apresentadas nas Figuras 19, 20, 21 e 22, representam uma projeção média para os Estados Unidos e a Europa, para cada um dos sistemas de *powertrain*. No Brasil, por exemplo, com o cenário local de uso de biocombustíveis, a saturação pode ser mais tardia para os *ICEVs* e *HEVs*. No Brasil, como a tecnologia desenvolvida para *BEVs* é principalmente importada de outros países, o ciclo de vida pode ter semelhança com o apresentado, contudo não significa que a tecnologia seja competitiva para tal cenário. Além de uma tecnologia *BEV* madura e desenvolvida, outros fatores são importantes, como custos, incentivos, financiamentos, infraestrutura, etc, para ser competitiva.

#### 4.3 ESTIMATIVA DA VELOCIDADE DE DIFUSÃO DA TECNOLOGIA

A velocidade de difusão da tecnologia (TDS) para cada uma das quatro tecnologias de *powertrain* e para cada base de dados foi analisada a partir da

Equação 7. Conforme o Quadro 9, para o ano de 2020, as tecnologias com maiores velocidades de difusão tecnológica são *FCEV-EPO* e *BEV-EPO*, com 19,05 e 17,09, enquanto as menores velocidades são para as tecnologias *ICEV-EPO* e *HEV-USPTO*, com 11,77 e 10,74.

Quadro 9- Velocidade de difusão das tecnologias de *powertrain*

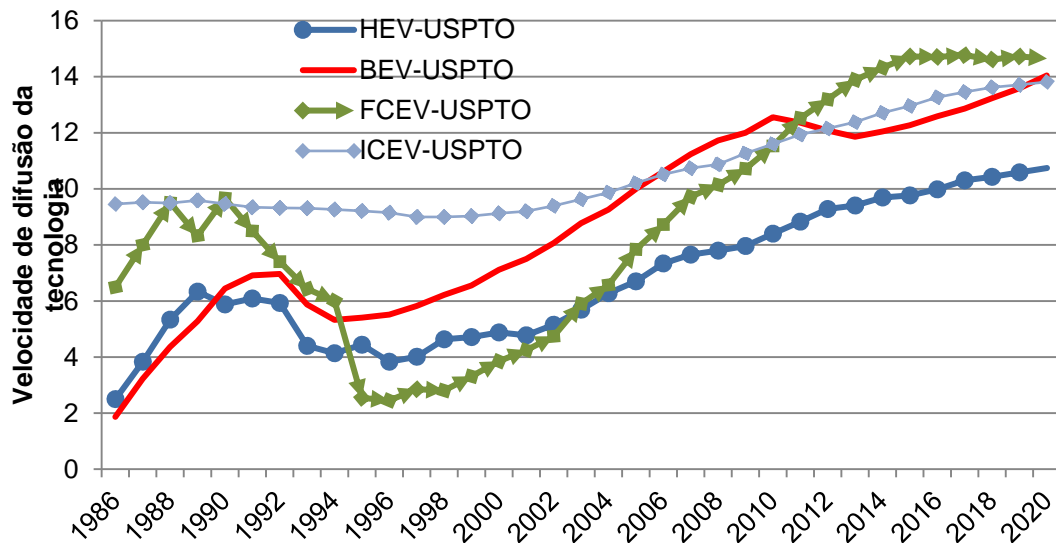
| <b>Tecnologia</b> | <b>Base de dados</b> | <b>Número de patentes</b> | <b>Total de citações de patentes</b> | <b>TDS (2020)</b> |
|-------------------|----------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------------------|
| <i>ICEV</i>       | USPTO                | 7915                      | 104940                               | 13,25             |
| <i>ICEV</i>       | EPO                  | 5288                      | 62232                                | 11,77             |
| <i>BEV</i>        | USPTO                | 5995                      | 84196                                | 14,04             |
| <i>BEV</i>        | EPO                  | 3021                      | 51628                                | 17,09             |
| <i>HEV</i>        | USPTO                | 4682                      | 50290                                | 10,74             |
| <i>HEV</i>        | EPO                  | 2166                      | 29418                                | 13,58             |
| <i>FCEV</i>       | USPTO                | 1273                      | 18632                                | 14,64             |
| <i>FCEV</i>       | EPO                  | 493                       | 9393                                 | 19,05             |

Fonte: Autor.

Na Figura 23, são apresentadas as velocidades de difusão ao longo do período de 1986 até 2020, para os dados do USPTO. Percebe-se que do período de 2012-2020 a tecnologia com maior velocidade de difusão tecnológica é a *FCEV*, com valores entre 13,69 e 14,64. Até o ano de 2005 a tecnologia com maior velocidade de difusão tecnológica foi a *ICEV*, com valores entre 9,52 e 10,2, e de 2006 até 2011 a tecnologia com maior velocidade foi a *BEV*, com uma faixa de valores entre 10,52 e 12,52.

Os dados de velocidade de difusão para a tecnologia, com os dados do EPO, são mostrados na Figura 24. No período de 2010-2020 a tecnologia com maior velocidade de difusão foi a *FCEV* e em segundo lugar a tecnologia *BEV*. Após o ano de 2006 a tecnologia *ICEV* foi o *powertrain* com menor velocidade de difusão tecnológica.

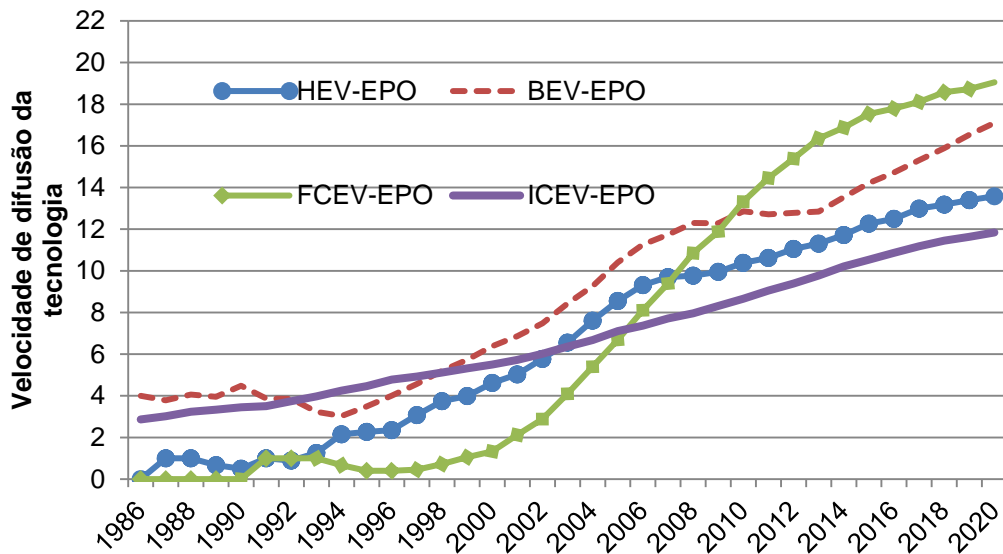
Figura 23- Velocidade de difusão das tecnologias de *powertrain* ao longo dos anos para os dados do USPTO



Fonte: Autor.

Comparando as Figuras 23 e 24, nota-se que a tecnologia *ICEV* permaneceu com maior velocidade de difusão com os dados do USPTO, variando entre 9,52 e 13,81, em média com maior potencial de comercialização se comparada à tecnologia *ICEV-EPO*. No período 2012-2020 a tecnologia *ICEV* permanece com velocidade de difusão em média maior com os dados do USPTO (entre 12,15 e 13,81), se comparado ao EPO (entre 9,39 e 11,84). Tal constatação pode indicar que a tecnologia *ICEV*, em um período mais recente (2012-2020), permanece com maior potencial de comercialização nos Estados Unidos, se comparada a Europa. Ainda na Europa pode-se observar que as tecnologias de *powertrain* elétricas, em um período mais recente, estão se difundindo mais rapidamente, se comparado aos Estados Unidos.

Figura 24- Velocidade de difusão das tecnologias de *powertrain* ao longo dos anos para os dados do EPO



Fonte: Autor.

#### 4.4 PAÍSES E ORGANIZAÇÕES DE PRIORIDADE E EMPRESAS DETENTORAS DAS FAMÍLIAS DE PATENTES

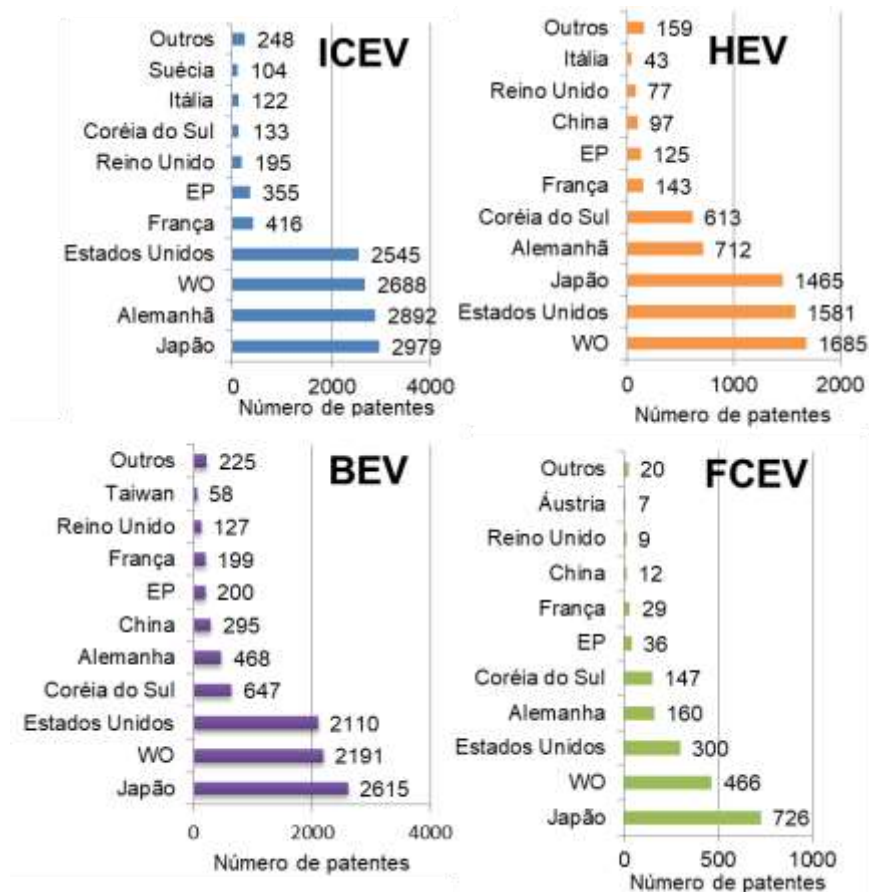
País de prioridade trata-se do local onde a tecnologia é patenteada pela primeira vez, ou seja, o país de origem daquela tecnologia. Nas tecnologias *ICEV*, *BEV* e *FCEV*, depositadas no USPTO, o principal país de prioridade das tecnologias é o Japão, conforme a Figura 25. Enquanto para a tecnologia *HEV*, com dados do USPTO, a organização de prioridade é o WO (Organização Mundial da Propriedade Intelectual), seguido pelo país de prioridade Estados Unidos. A WO é uma entidade internacional, com sede em Genebra na Suíça, composta de 187 estados-membros, onde o objetivo é promover a proteção da propriedade intelectual internacionalmente. Ainda pode ser vista nas Figuras 25 e 26 a Organização Europeia de Patentes (EP), que é uma organização internacional pública, com sede em Munique na Alemanha, onde permite a proteção das invenções em até 44 estados-membros através de um procedimento centralizado que requer apenas um pedido.

Na tecnologia *ICEV* o país que aparece em segundo lugar, com 2892 patentes é a Alemanha, o que é influenciado pela grande quantidade de patentes depositadas pela Robert Bosch, além de outras empresas como BMW (Bayerische Motoren Werke AG), Daimler, Vitesco, Volkswagen, Mann & Hummel, e Audi, conforme os dados apresentados no Apêndice A. Já na tecnologia *ICEV* o Japão

aparece como principal país de prioridade em decorrência da grande quantidade de patentes publicadas pelas empresas, Toyota, Honda, Nissan, Denso, Hitachi e Mitsubishi.

Para as patentes publicadas no EPO, com a tecnologia *ICEV*, a organização de prioridade com maior quantidade de patentes é WO, seguido pelo país Alemanha (Figura 26). A Alemanha ocupa tal posição, pois, a Robert Bosch aparece como a empresa com maior quantidade de patentes, além de outras empresas alemãs como a Volkswagen, BMW, Man Truck & Bus, Mahle International, Mann & Hummel, Continental Automotive, Daimler Chrysler, Audi, entre outras. Os dados das principais empresas detentoras das patentes por tecnologia, para o EPO, podem ser verificados no Apêndice B. Para a tecnologia *HEV*, os países de prioridade com mais patentes são WO (1458), Japão (638) e Alemanha (509). O Japão aparece em segundo lugar em decorrência da grande quantidade de patentes publicadas pela Toyota, Nissan e Honda.

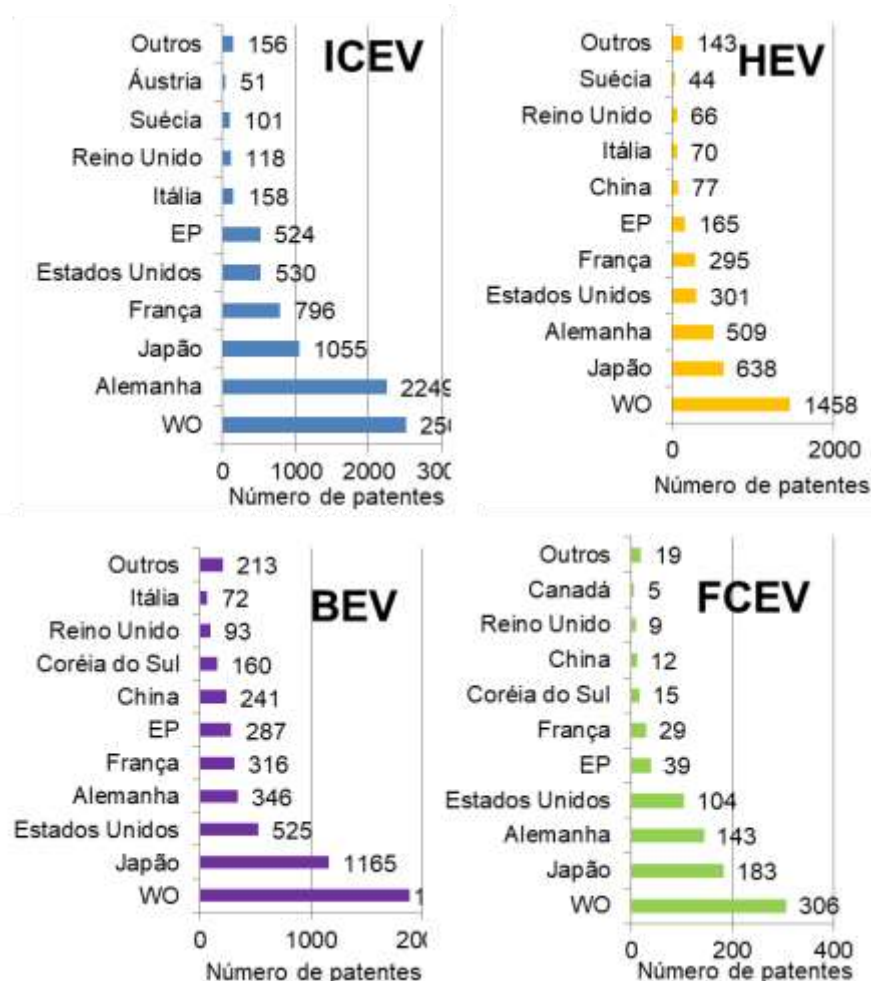
Figura 25- Países de prioridade das famílias de patentes publicadas no USPTO para os sistemas de *powertrain*



Fonte: Autor.

Para a tecnologia *BEV*, com dados do EPO, o WO aparece primeiro e o Japão em segundo lugar como país de prioridade das patentes (Figura 26). As empresas com maior quantidade de famílias de patentes para a tecnologia *BEV* são: Toyota (348 famílias de patentes), Honda (172 famílias de patentes), Renault (144 famílias de patentes), Nissan (134 famílias de patentes) e Mitsubishi Motors (78 famílias de patentes). A tecnologia *FCEV* possui como principais países de prioridade: WO (306 famílias de patentes), Japão (186 famílias de patentes), Alemanha (143 famílias de patentes) e os Estados Unidos (104 famílias de patentes). O Japão aparece em segundo lugar, pois, as seguintes empresas possuem a maior quantidade de famílias de patentes publicadas: Toyota (57 famílias de patentes), Nissan (56 famílias de patentes) e Honda (37 famílias de patentes).

Figura 26- Países de prioridade das famílias de patentes publicadas no EPO para os sistemas de *powertrain*



Fonte: O autor.



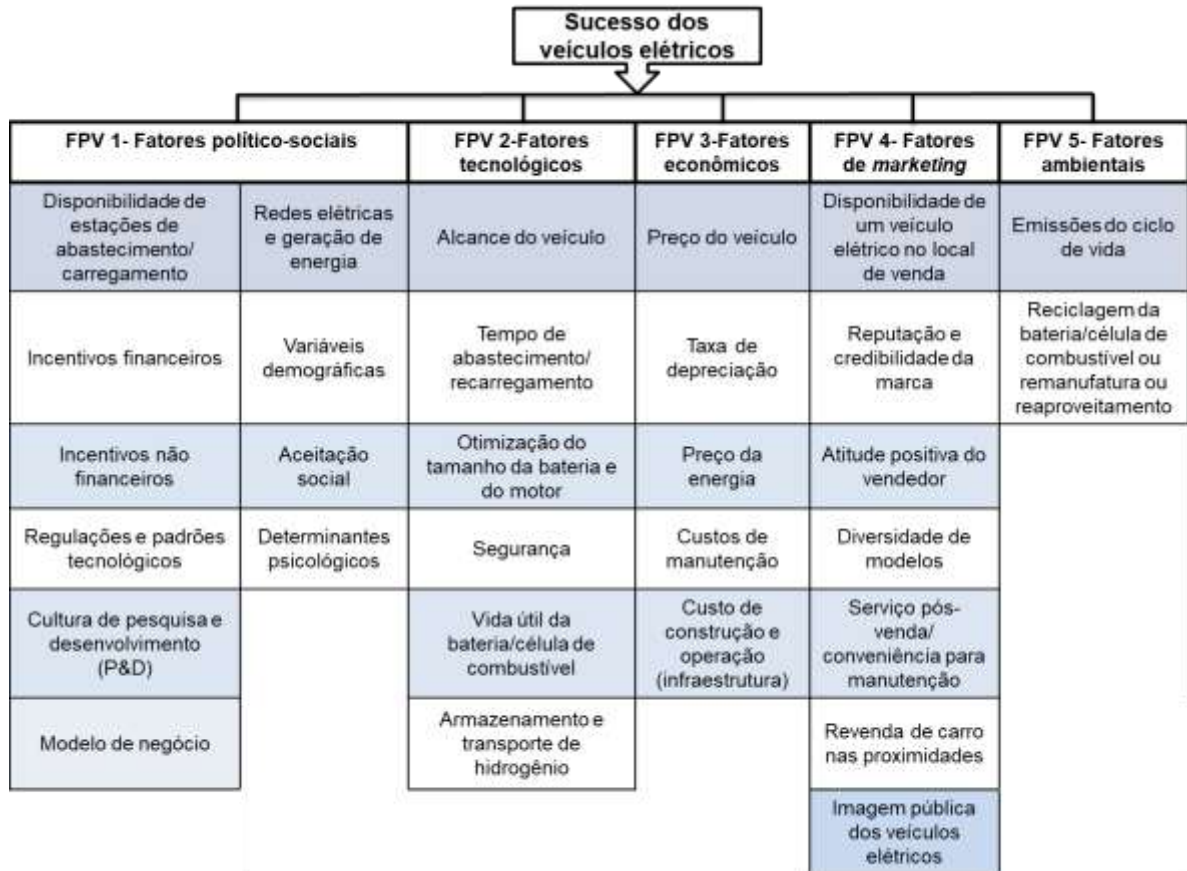
#### 4.5 FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA OS VEÍCULOS ELÉTRICOS

A partir da literatura foram selecionados 122 artigos que realmente mostram discussões sobre fatores que impactam o sucesso dos veículos elétricos. Dentre os 122 artigos, 30 FCSs foram selecionados. Os FCSs foram relacionados aos artigos que apontam para cada fator, conforme o Apêndice C. Em média, cada um dos 30 FCS, conforme demonstrado no Apêndice C, foi citado por aproximadamente 11,4 artigos. Os FCS são divididos em 5 PVFs, que são fatores político-sociais (PVF-1), fatores tecnológicos (PVF-2), fatores econômicos (PVF-3), fatores mercadológicos (PVF-4) e fatores ambientais (PVF-5) (Ren, 2018; Saritas et al., 2019). Ainda, com base no aparecimento na literatura, a ordem de importância encontrada para cada um dos PVFs foi: fatores político-sociais (59,5%); fatores tecnológicos (17%); fatores econômicos (14%); fatores de *marketing* (6,16%); fatores ambientais (3,2%). Na Figura 27 são apresentados os FCSs e PVFs para os veículos elétricos. Cada um dos fatores apresentados representam pontos essenciais para a difusão dos veículos elétricos. Mesmo que os veículos elétricos possuam um bom desempenho tecnológico, mas sem a disponibilização de infraestrutura o consumidor não adotará a tecnologia. Enquanto os incentivos financeiros são uma maneira de tornar os veículos mais atrativos financeiramente.

O PVF- fatores político-sociais compreendem 10 fatores críticos para o sucesso que depende de ações vindas dos governantes e da sociedade em geral para então facilitar-se a difusão dos veículos elétricos. O PVF- fatores tecnológicos depende do desenvolvimento da tecnologia, como veículos e infraestrutura, totalizando 6 fatores. Os fatores econômicos compreendem 5 pontos-chaves referentes ao custo do veículo e da infraestrutura. Os fatores de *marketing* compreendem 7 pontos-chaves referentes aos processos de publicidade, venda e pós-venda. Enquanto os fatores ambientais referem-se às emissões do ciclo de vida do veículo e processo de descarte ou remanufatura das baterias utilizadas.



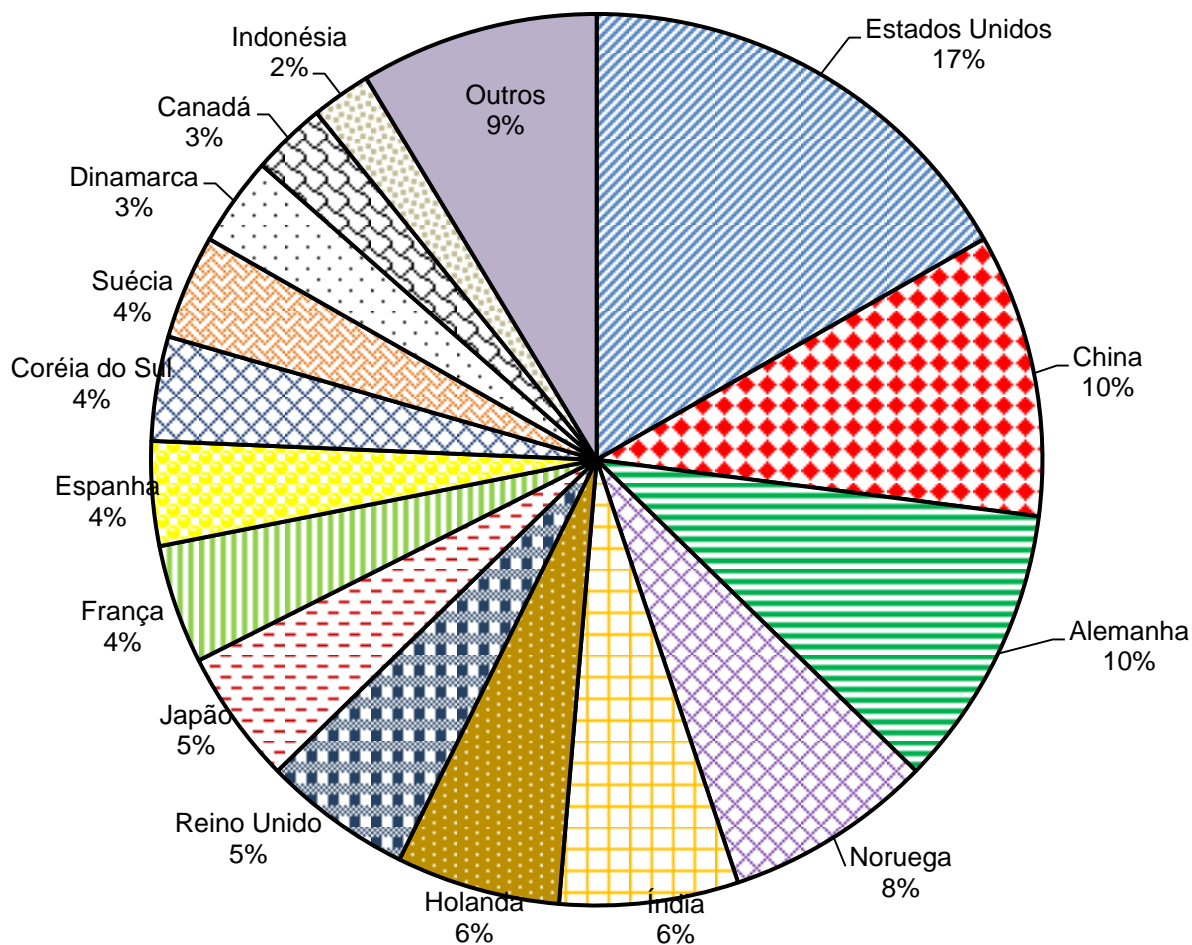
Figura 27- Fatores críticos de sucesso para a difusão dos veículos elétricos



Fonte: O autor.

Entre os 122 trabalhos selecionados, os principais países analisados em cada um dos documentos são apresentados na Figura 28. Há predominância de três regiões, que estão na vanguarda da introdução dos veículos elétricos, que são: América do Norte, Europa e Ásia. Entre os 31 artigos que tratam do FCS para o cenário norte-americano, 11 abordam especificamente o contexto do estado da Califórnia, ou cidades que estejam dentro desse estado. O número de estudos referentes especificamente ao estado da Califórnia reflete as várias iniciativas que são tomadas há diversos anos para promoção dos veículos elétricos nessa região. Ainda mais 5 artigos tratam do estado da Califórnia e outros países ou cidades, no mesmo estudo. Em 19 artigos, mais de um país é abordado em cada um dos documentos.

Figura 28- Distribuição geográfica dos artigos incluídos na revisão sistemática da literatura



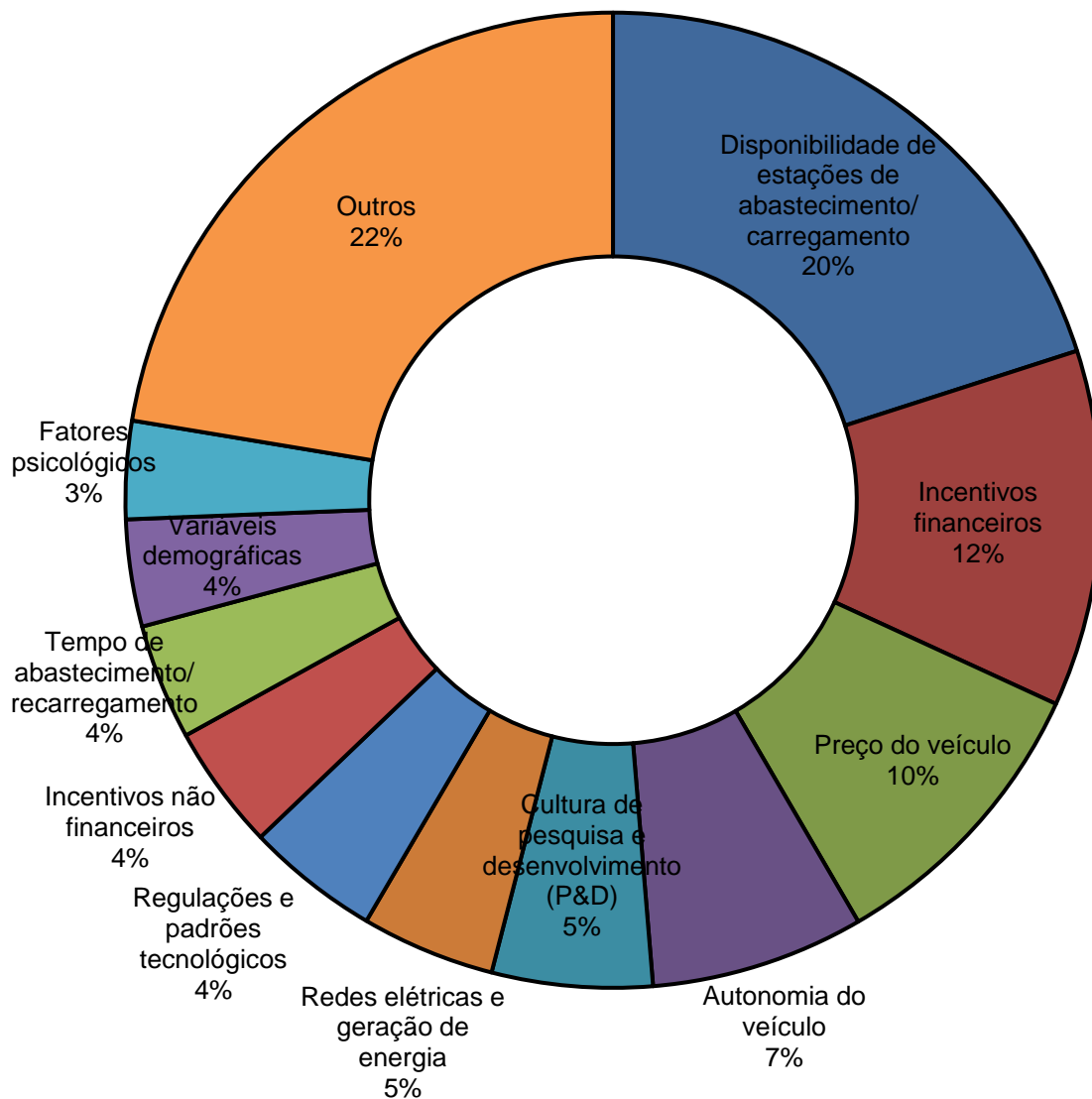
Fonte: Autor.

Em 2021, na Europa, a participação nas vendas de veículos novos foi de 17% para os elétricos, na China 16%, Estados Unidos 5%, Brasil 1,8%, Japão com menos de 1%, e globalmente 8,57%. Considerando o número total de veículos rodando em cada país, nos Estados Unidos menos de 1% da frota é elétrica e no Brasil cerca de 0,2%. Percebe-se que a proporção de veículos elétricos novos vendidos tem relação com as regiões com mais estudos sobre essa tecnologia.

Conforme a frequência de aparição dos FCS na literatura foi possível hierarquizar os fatores conforme seu nível de importância, como pode ser visto na Figura 29. O FCS que foi citado mais frequentemente na literatura, em 20% dos artigos analisados, é a disponibilidade de estações de carregamento ou reabastecimento. A disponibilidade de infraestrutura de abastecimento ou recarregamento em quantidade e em locais adequados representam um requisito indispensável para o sucesso dos veículos elétricos. O FCS incentivos financeiros

também foi frequentemente citado na literatura, em 12% dos documentos analisados. Os incentivos financeiros, através da isenção ou redução de impostos, pode ser um mecanismo que influencie a difusão dessas tecnologias.

Figura 29- Nível de importância dos FCS para os veículos elétricos



Fonte: Autor.

Todos os FCSs podem influenciar diretamente na comercialização da tecnologia e também no ciclo de vida da tecnologia. Por exemplo, o aumento da pesquisa e o desenvolvimento nessa área podem influenciar diretamente no amadurecimento da tecnologia, conseqüentemente causando alterações no ciclo de vida da tecnologia. Também vale ressaltar que o desenvolvimento e amadurecimento de uma determinada tecnologia podem afetar o interesse por outras tecnologias. Por

exemplo, o aumento do interesse em *BEVs*, pode levar a um desinteresse em *ICEVs*.

Ainda, se em um determinado local, umas das tecnologias for banida através de legislações, pode haver alterações no ciclo de vida das tecnologias. Pois dessa forma o interesse em P&D migrará para outras tecnologias. Logo, além de olhar o ciclo de vida da tecnologia, é importante acompanhar as decisões governamentais e do mercado

## 5 CONCLUSÕES

Os veículos elétricos são uma alternativa potencial para a redução das emissões de poluentes e dos gases causadores do efeito estufa no setor de veículos automotores, desde que a fonte de geração de energia elétrica seja renovável. Porém, ainda apresentam diversas barreiras que dificultam sua adoção generalizada. Enquanto isso os *ICEVs* são uma tecnologia difundida e madura que continua recebendo desenvolvimentos incrementais, visando torná-los mais eficientes e com menores impactos ambientais. A relevância das barreiras enfrentadas para a difusão difere em relação ao estágio do ciclo de vida em que a tecnologia se encontra. Portanto, o objetivo deste estudo foi analisar o ciclo de vida da tecnologia dos veículos com motor de combustão interna e dos veículos elétricos e apresentar os principais fatores que influenciam a difusão das tecnologias.

Com a revisão sistemática foram apontados 30 fatores que influenciam a difusão dos veículos elétricos. A partir da investigação realizada, dos dados coletados, da estimativa do ciclo de vida das tecnologias, do ritmo de desenvolvimento e da velocidade de difusão, as seguintes considerações podem ser enfatizadas:

A) Nos últimos anos a taxa de crescimento da tecnologia *ICEV* tem chegado aos menores níveis, em cerca de 2%. Enquanto a tecnologia *BEV* apresentou as maiores taxas de crescimento em 2020, entre 5-6%.

B) Quanto à velocidade de difusão da tecnologia, para o ano de 2020, as tecnologias com maiores velocidades de difusão tecnológica foram *FCEV-EPO* e *BEV-EPO*, com 19,05 e 17,09, enquanto as menores velocidades são para as tecnologias *ICEV-EPO* e *HEV-USPTO*, com 11,77 e 10,74. Percebe-se que no período 2012-2020 a tecnologia *ICEV* permaneceu com velocidade de difusão em média maior com os dados do USPTO (entre 12,15 e 13,81), se comparado ao EPO (entre 9,39 e 11,84). Tal constatação pode indicar que a tecnologia *ICEV*, em um período mais recente (2012-2020), permanece com maior potencial de comercialização nos Estados Unidos, se comparada a Europa. Ainda na Europa pode-se observar que as tecnologias de *powertrain* elétricas, em um período mais recente, estão se difundindo mais rapidamente, se comparado aos Estados Unidos.

C) A tecnologia *ICEV* está na fase de maturidade tecnológica, com taxa de maturidade tecnológica de 83% com dados do USPTO e de 89% com dados do

EPO. Com os dados do EPO a estimativa de saturação é para o ano de 2037, enquanto para os dados do USPTO, a saturação é estimada para o ano de 2045.

D) A taxa de maturidade tecnológica estimada para a tecnologia *BEV* é de 47% com os dados do USPTO e de 63% com os dados do EPO. As estimativas do ciclo de vida da tecnologia apontaram que com os dados do EPO a saturação acontece antes que com os dados do USPTO, para todas as tecnologias analisadas. Tal constatação pode indicar que o processo de pesquisa e desenvolvimento Europeu, para as tecnologias analisadas, encontra-se com um estágio de desenvolvimento mais avançado.

E) A tecnologia *FCEV* apresentou a maior taxa de maturidade tecnológica, com saturação prevista para 2022 com os dados do EPO e em 2029 com os dados do USPTO. Apesar de todo o progresso tecnológico alcançado, isto não foi suficiente para chegar a um produto comercializável. Isso pode ser devido à alta complexidade tecnológica, além de uma infraestrutura de postos de abastecimento pouco desenvolvida e falta de incentivos governamentais. O ciclo de vida da tecnologia *FCEV* apresentou certo afastamento entre os dados de estimativa e os dados reais, entre os anos de 1982-2020.

F) Com mudanças nas legislações, incremento ou retirada de incentivos governamentais, a estimativa do ciclo de vida da tecnologia pode sofrer alterações, aumentando ou reduzindo o tempo estimado para a saturação. Portanto, um plano de ação focado nos resultados dos indicadores construídos a partir dos fatores críticos de sucesso, pode alterar o ciclo de vida e a velocidade de difusão da tecnologia. No Brasil, o uso de biocombustíveis, incentivos para os combustíveis renováveis, incentivos para os veículos elétricos, criação de infraestrutura de recarga ou abastecimento, investimentos em P&D e criações de regulamentos, são alguns dos fatores que podem causar alterações no ciclo de vida da tecnologia.

G) Os veículos elétricos apresentam ainda diversas barreiras para a sua adoção em larga escala. O número de vendas de veículos elétricos vem aumentando anualmente, porém, ainda estão muito longe de ser uma alternativa global para redução de emissões de gases causadores do efeito estufa. Em 2021 na Europa a participação nas vendas de veículos novos foi de 17% para os elétricos, na China 16%, Estados Unidos 5%, Brasil 1,8%, Japão com menos de 1%, e globalmente 8,57%. Considerando o número total de veículos rodando em cada país, nos Estados Unidos menos de 1% da frota é elétrica e no Brasil cerca de 0,2%.

Em países, como, por exemplo, o Brasil, os *ICEVs* continuarão ainda sendo dominantes por muitos anos, devido ao uso de combustíveis renováveis como o etanol. O uso intensivo de combustíveis oriundos da biomassa, no Brasil, é uma alternativa viável para redução líquida de emissão de CO<sub>2</sub>, o principal gás de efeito estufa. Em muitos países da Europa, precursores na disseminação de veículos elétricos, a crise energética, ocasionada pela guerra na Ucrânia, tem aumentado as dificuldades para adoção em larga escala.

H) Para aumentar a taxa de difusão dos veículos elétricos, o governo e a sociedade têm papel relevante, seja na construção de infraestrutura de recarga e redes elétricas, geração de energia renovável, determinação de regulamentos e normas, concessão de financiamento, incentivos não financeiros e pesquisa e desenvolvimento. Também é essencial entender o processo de aceitação dos veículos elétricos, como a influência de fatores sociodemográficos e psicológicos.

I) O preço de compra do veículo desempenha um papel importante na decisão de escolher um veículo elétrico. No entanto, é importante apresentar aos usuários que, ao comparar o custo total de propriedade, no caso de um *BEV*, esse alto investimento inicial pode compensar, em comparação com um veículo convencional, devido aos menores custos de energia.

J) A geração de energia a partir de fontes renováveis para recarregar os veículos elétricos é um fator determinante para alcançar o objetivo de reduzir as emissões de GEE. Em países com fontes de eletricidade predominantemente fósseis, a introdução de veículos elétricos reduzirá apenas as emissões de GEE e poluentes no ponto de uso, mas terá pouco efeito nas emissões do ciclo de vida. O aumento da autonomia do veículo, decorrente do uso de baterias com maiores capacidades, levam a um aumento considerável nas emissões de GEE. Reciclar, remanufaturar ou reutilizar baterias é uma questão urgente a ser abordada para proteger o meio ambiente da poluição e economizar recursos naturais da mineração.

K) Informações fornecidas pelos vendedores no ponto de venda, disponibilidade de veículos para visualização ou teste, disponibilidade de concessionárias próximas, reputação e credibilidade da marca são fatores que afetam a intenção de compra dos usuários. Além disso, os serviços de pós-venda como manutenção, mão de obra especializada para manutenção e entrega rápida de peças de reposição também causam preocupação ao usuário na hora de adquirir um veículo elétrico.

Nas seções 5.1, 5.2 e 5.3 ainda são apresentados as principais limitações deste estudo, sugestão de estudos futuros e as principais publicações referentes a este trabalho.

## 5.1 LIMITAÇÕES

Uma das limitações deste estudo é que nem todas as tecnologias são patenteadas. Muitas tecnologias, por questão de sigilo ou outros fatores, não são patenteadas, logo é algo que pode influenciar esta análise de ciclo de vida da tecnologia. Também, muito conhecimento está presente na forma de artigos ou relatórios, que também não são considerados neste estudo. Os dados de patentes utilizados consideram o número total de famílias de patentes publicadas, mas não levam em conta a qualidade das patentes, que pode ser melhorado usando como medida o número de citações.

## 5.2 ESTUDOS FUTUROS

O presente estudo possui pontos que podem ser avançados em estudos futuros. As subtecnologias de veículos elétricos, como baterias, motor elétrico, inversor, célula de combustível, entre outros, podem ser avaliadas quanto ao seu ciclo de vida, com dados de patentes. O ciclo de vida da tecnologia pode ser estimado usando outras modelagens, como Gompertz e Bass, visando encontrar a modelagem que apresenta um ajuste ótimo da curva e comparando com a logística.

A estimativa do ciclo de vida da tecnologia também pode ser realizada com dados de vendas de veículos, comparando, por exemplo, diferentes países e tecnologias.

Os FCSs dos veículos elétricos ainda podem ser hierarquizados com base na opinião de especialistas da área. Depois de hierarquizados pode ser construída uma modelagem, visando à medição do desempenho competitivo dos veículos elétricos, em diferentes cenários.

## 5.3 PUBLICAÇÕES

Com base nas pesquisas executadas durante o curso de doutorado foram publicados alguns estudos. O seguinte estudo foi publicado em um congresso:



- Em 2021, no XXVIII SIMEA (Simpósio Internacional de Engenharia Automotiva) foi publicado o artigo intitulado “*Well-to-wheel analysis of GHG emissions in electric vehicles- critical review*”.

E os seguintes estudos foram publicados em revistas internacionais:

- Em janeiro de 2022 foi publicado o artigo intitulado “*Technological evolution of internal combustion engine vehicle: A patent data analysis*”, na revista Applied Energy, cujo fator de impacto é de 11,446.
- Em dezembro de 2022 o artigo intitulado “*Technological forecasting for fuel cell electric vehicle: a comparison with electric vehicles and internal combustion engine vehicles*” foi publicado na revista World Patent Information.
- Ainda no ano de 2022, foi publicado na revista International Journal of Hydrogen Energy, fator de impacto 7,139, o estudo “*Current scenario and outlook for biogas and natural gas businesses in the mobility sector in Brazil*”.

Os estudos publicados durante o curso de doutorado, até o presente momento (06/05/2023), apresentam 41 citações. Considerando também os estudos publicados durante o curso de mestrado, até o presente momento, o número de citações sobe para 392 citações.

## REFERÊNCIAS

- AALDERING, L. J.; LEKER, J.; SONG, C. H. Competition or collaboration? – Analysis of technological knowledge ecosystem within the field of alternative powertrain systems: A patent-based approach. **Journal of Cleaner Production**, 2019. v. 212, p. 362–371. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618337491>>.
- AGARWAL, A. K. *et al.* Challenges and Opportunities for Application of Reactivity-Controlled Compression Ignition Combustion in Commercially Viable Transport Engines. **Progress in Energy and Combustion Science**, 2022. v. 93, p. 101028. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360128522000351>>.
- AGERSKOV, M. L.; HØJ, J. C. L. Lessons learned from the Danish EV living lab. [S.l.]: [s.n.], 2013. p. 1–7. Disponível em: <<http://files/1839/6914920.html>>.
- ÅHMAN, M. Government policy and the development of electric vehicles in Japan. **Energy Policy**, 15 jul. 2006. v. 34, n. 4, p. 433–443. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421504001855>>.
- AJANOVIC, A; SAYER, M.; HAAS, R. The economics and the environmental benignity of different colors of hydrogen. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2022. v. 47, n. 57, p. 24136–24154. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319922007066>>.
- AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard. Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success. **Energy**, 2016. v. 115, p. 1451–1458. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544216306508>>.
- \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. On the economics and the future prospects of battery electric vehicles. **Greenhouse Gases: Science and Technology**, 27 jan. 2020. v. 10, n. 6, p. 1151–1164. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/ghg.1985>>.
- AL-SAMARI, A. Study of emissions and fuel economy for parallel hybrid versus conventional vehicles on real world and standard driving cycles. **Alexandria Engineering Journal**, 2017. v. 56, n. 4, p. 721–726. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016817301539>>.
- ALBERTS, D. *et al.* Introduction to Patent Searching. **Current Challenges in Patent Information Retrieval**. [S.l.]: Springer Link, 2011.
- ALIAS, Z. *et al.* Determining Critical Success Factors of Project Management Practice: A Conceptual Framework. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, 2014.
- ALSULTAN, A. G. *et al.* Combustion and Emission Performance of CO/NO<sub>x</sub>/SO<sub>x</sub> for Green Diesel Blends in a Swirl Burner. **ACS Omega**, 12 jan. 2021. v. 6, n. 1, p. 408–415. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04800>>.

ALTERNATIVE FUELS DATA CENTER. U.S. public and private alternative fueling stations by fuel type. 2022a. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/data/10332>>.

\_\_\_\_\_. How Do All-Electric Cars Work? 2022b. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-all-electric-cars-work>>. Acesso em: 11 nov. 2022.

\_\_\_\_\_. Diesel Vehicles Using Biodiesel. 2023. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/diesel.html>>. Acesso em: 10 fev. 2023.

ALTUNTAS, S.; DERELI, T.; KUSIAK, A. Forecasting technology success based on patent data. **Technological Forecasting and Social Change**, 2015.

ÁLVAREZ FERNÁNDEZ, R. *et al.* Fuel optimization strategy for hydrogen fuel cell range extender vehicles applying genetic algorithms. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 26 fev. 2018. v. 81, p. 655–668. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117311991>>.

AMAYA, A. F. D.; TORRES, A. G. D.; ACOSTA, D. A. Control of emissions in an internal combustion engine: first approach for sustainable design. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, 2016. v. 10, n. 3.

ANP. Resolution No. 16/2008. 2008. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-16-2008-dispoe-sobre-as-informacoes-constantas-dos-documentos-da-qualidade-e-o-envio-dos-dados-da-qualidade-dos-combustiveis-produzidos-no-territorio-nacional-ou-importados-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 20 set. 2020.

\_\_\_\_\_. Resolution No. 8/2015. 2015. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-n-8-de-30-de-janeiro-de-2015-32367532>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

APOSTOLOU, D.; XYDIS, G. **A literature review on hydrogen refuelling stations and infrastructure. Current status and future prospects. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

APPOLINÁRIO, F. **Metodologia Científica**. São Paulo: Cengage Learning Edições Ltda, 2016.

ARGUN, H. *et al.* Biohydrogen production by dark fermentation of wheat powder solution: Effects of C/N and C/P ratio on hydrogen yield and formation rate. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2008. v. 33, n. 7.

ASAAD, M. *et al.* Viability of xEVs in India: A Public Opinion Survey. (R. K. Pillai *et al.*, Org.). [S.l.]: Springer, 2018. p. 165–178.

ATADASHI, I. M.; AROUA, M. K.; AZIZ, A. A. **Biodiesel separation and purification: A review. Renewable Energy.**

ATHANASOPOULOU, L.; BIKAS, H.; STAVROPOULOS, P. Comparative Well-to-Wheel Emissions Assessment of Internal Combustion Engine and Battery Electric Vehicles. [S.l.]: [s.n.], 2018. V. 78.

AUJLA, G. S.; JINDAL, A.; KUMAR, Neeraj. EVaaS: Electric vehicle-as-a-service for energy trading in SDN-enabled smart transportation system. **Computer Networks**, 21 set. 2018. v. 143, p. 247–262. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128618304900>>.

AUTOMOTIVE NEWS EUROPE. German market falls 3% in January as EV sales plunge. 2023. Disponível em: <<https://europe.autonews.com/sales-market/german-car-market-falls-january-ev-sales-plunge>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

AYYADI, S.; MAAROUFI, M. Diffusion Models For Predicting Electric Vehicles Market in Morocco. [S.l.]: [s.n.], 2018. p. 46–51.

AZWAR, M. Y.; HUSSAIN, M. A.; ABDUL-WAHAB, A. K. **Development of biohydrogen production by photobiological, fermentation and electrochemical processes: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

BAE, Choongsik; KIM, Jaeheun. Alternative fuels for internal combustion engines. **Proceedings of the Combustion Institute**, 2017. v. 36, n. 3.

BAI, W.; ZHANG, Long. How to finance for establishing hydrogen refueling stations in China? An analysis based on Fuzzy AHP and PROMETHEE. **International Journal of Hydrogen Energy**, 28 jan. 2020. HYDROGEN FOR BETTER SUSTAINABILITY. v. 45, n. 59, p. 34354–34370. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036031992030001X>>.

BAYRAM, I. S.; PAPAPANAGIOTOU, I. A survey on communication technologies and requirements for internet of electric vehicles. **EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking**, 21 set. 2014. v. 2014, n. 1, p. 223. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/1687-1499-2014-223>>.

BEISE, M.; RENNINGS, K. The impact of national environmental policy on the global success of next-generation automobiles. **International Journal of Energy Technology and Policy**, 21 set. 2004. v. 2, n. 3, p. 272–283. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/ids/ijetpo/v2y2004i3p272-283.html>>.

BENNETT, R.; KOTTASZ, R.; SHAW, S. Factors potentially affecting the successful promotion of electric vehicles. **Journal of Social Marketing**, 8 maio. 2016. v. 6, n. 1, p. 62–82. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/JSOCM-08-2015-0059/full/html>>.

BERGMANN, J. C. *et al.* **Biodiesel production in Brazil and alternative biomass feedstocks. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

BINDING, C. *et al.* Electric vehicle fleet integration in the danish EDISON project - A virtual power plant on the island of Bornholm. [S.l.]: [s.n.], 2010. p. 1–8. Disponível em: <[http://files/1974/Binding et al. - 2010 - Electric vehicle fleet integration in the danish E.pdf](http://files/1974/Binding%20et%20al.%20-%202010%20-%20Electric%20vehicle%20fleet%20integration%20in%20the%20danish%20E.pdf)>.

BLASIO, G. DI; IANNIELLO, R.; BEATRICE, C. Hydrotreated vegetable oil as enabler for high-efficient and ultra-low emission vehicles in the view of 2030 targets. **Fuel**, 2022. v. 310, p. 122206. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236121020822>>.

BMW. **BMW i8**. Disponível em: <<https://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/i8/2014/at-a-glance.html>>.

**BMW i3**. Disponível em: <<https://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/i3/2017/visao-geral.html>>.

BONNET. Government Grants & Incentives for EVs in the UK: A Complete Guide. 2023. Disponível em: <<https://www.joinbonnet.com/post/ev-grants-incentives-uk>>. Acesso em: 18 fev. 2023.

BORGSTEDT, P.; NEYER, B.; SCHEWE, G. Paving the road to electric vehicles – A patent analysis of the automotive supply industry. **Journal of Cleaner Production**, 20 nov. 2017. v. 167, p. 75–87.

BORUP, R. L. *et al.* **Recent developments in catalyst-related PEM fuel cell durability. Current Opinion in Electrochemistry.**

BOWER, J. L., And C. M. C. Disruptive Technologies: Catching the Wave. **Harvard Business Review**, 1995. v. 73, n. 1, p. 43–53. Disponível em: <<https://www.hbs.edu/faculty/Pages/item.aspx?num=6841>>.

BRAJTERMAN, O. **Introdução de veículos elétricos e impactos sobre o setor energético brasileiro**. Disponível em: <[http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Olivia\\_Brajterman.pdf](http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Olivia_Brajterman.pdf)>.

BRASIL, R. **Renault ZOE**. Disponível em: <<https://www.renault.com.br/veiculos/veiculos-eletricos/renault-zoe.html>>.

BRAZIL. Lei N° 14.026, de 15 de julho de 2020. **15/07/2020**, 2020. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna: vol. 1**. [S.l.]: Editora Blucher, 2012.

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ. Öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge in Deutschland. 2023. Disponível em: <<https://www.foerderdatenbank.de/FDB/Content/DE/Foerderprogramm/Bund/BMVI/la-deinfrastruktur-elektrofahrzeuge-in-deutschland.html>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

BURGESS, M. *et al.* Electric vehicle drivers' reported interactions with the public: Driving stereotype change? **Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour**, 19 set. 2013. v. 17, p. 33–44. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369847812000952>>.

CABEZUELO, D. *et al.* Powertrain systems of electric, hybrid and fuel-cell vehicles: State of the technology. [S.l.]: [s.n.], 2017.

CAI, H. *et al.* Decarbonization potential of on-road fuels and powertrains in the European Union and the United States: a well-to-wheels assessment. **Sustainable**

**Energy & Fuels**, 2022. v. 6, n. 19, p. 4398–4417. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1039/D2SE00411A>>.

CALIFORNIA ELECTRIC VEHICLE INFRASTRUCTURE PROJECT. EV Charging Basics. 2023. Disponível em: <<https://calevip.org/electric-vehicle-charging-101>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

CANAL RURAL. Número de usinas de etanol de milho pode subir para 19 unidades em MT, prevê Sedec. 2023. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/mato-grosso/numero-de-usinas-de-etanol-de-milho-pode-subir-para-19-unidades-em-mt-preve-sedec/>>.

CARDOSO, D. S.; FAEL, P. O.; ESPÍRITO-SANTO, A. A review of micro and mild hybrid systems. **Energy Reports**, 2020. v. 6, p. 385–390. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S235248471930592X>>.

CARRANZA, F.; PATURET, O.; SALERA, S. Norway, the most successful market for electric vehicles. [S.l.]: [s.n.], 2013. p. 1–6. Disponível em: <<http://files/1885/6915005.html>>.

CHEN, S.-H. *et al.* DC Quick Charging Operation Assistant Development and Experiment in Taiwan. **undefined**, 21 set. 2015. Disponível em: <<https://www.semanticscholar.org/paper/DC-Quick-Charging-Operation-Assistant-Development-Chen-Lin/7b66ddc0a389c90bb14127caee8ced8435272ab4>>.

CHEN, Y. H.; CHEN, C. Y.; LEE, S. C. Technology forecasting and patent strategy of hydrogen energy and fuel cell technologies. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2011.

CHENG, A. C. Exploring the relationship between technology diffusion and new material diffusion: The example of advanced ceramic powders. **Technovation**, 2012.

CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K. Exploring consumer attitudes and public opinions on battery electric vehicles. **Journal of Renewable and Sustainable Energy**, 5 maio. 2015. v. 7, n. 4, p. 43122. Disponível em: <<http://aip.scitation.org/doi/10.1063/1.4926772>>.

CHEVROLET. **Manuais do proprietário Chevrolet Bolt**. Disponível em: <[https://meu.chevrolet.com.br/content/dam/gmownercenter/gmsa/gmbr/dynamic/manuals/2022/chevrolet/Bolt/pt/om\\_ng-chevrolet\\_Bolt\\_my22-pt\\_BR.pdf](https://meu.chevrolet.com.br/content/dam/gmownercenter/gmsa/gmbr/dynamic/manuals/2022/chevrolet/Bolt/pt/om_ng-chevrolet_Bolt_my22-pt_BR.pdf)>.

CHHIKARA, R. *et al.* Factors affecting adoption of electric vehicles in India: An exploratory study. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2 set. 2021. v. 100, p. 103084. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921003813>>.

CHIPLONKAR, S. J. Development of a Marketable Small Commercial Electric Vehicle in India. [S.l.]: [s.n.], 2006. p. 1. Disponível em: <<http://files/1909/4156552.html>>.

CHIU, Y. J.; YING, T. M. A novel method for technology forecasting and developing RD strategy of building integrated photovoltaic technology industry. **Mathematical**

## Problems in Engineering, 2012.

CHO, Yonghee. Investigating the merge of exploratory and normative technology forecasting methods. [S.l.]: [s.n.], 2013.

CHRISTINA, B. Indonesia launches B30 biodiesel to cut costs, boost palm oil. **Reuters**, 2019. Disponível em: <<https://www.reuters.com/article/us-indonesia-biodiesel-idUSKBN1YR0D2>>.

CHU, W. *et al.* A New Product Risk Model for the Electric Vehicle Industry in South Korea. **Journal of Distribution Science**, 28 jan. 2020. v. 18, n. 9, p. 31–43. Disponível em: <<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO202029462345316.view?orgId=kodisa>>.

CIBIOGÁS. BiogasMap. 2021. Disponível em: <<https://mapbiogas.cibiogas.org/>>. Acesso em: 25 abr. 2021.

CIFUENTES, B. *et al.* Hydrogen production by steam reforming of ethanol on rh-pt catalysts: Influence of CeO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>, and La<sub>2</sub>O<sub>3</sub> as supports. **Catalysts**, 2015. v. 5, n. 4.

CLAYTON CHRISTENSEN. Disruptive Innovation. 2022. Disponível em: <<https://claytonchristensen.com/key-concepts/>>. Acesso em: 14 nov. 2022.

COLMENAR-SANTOS, A. *et al.* Impact assessment of electric vehicles on islands grids: A case study for Tenerife (Spain). **Energy**, 26 fev. 2017. v. 120, p. 385–396. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544216317364>>.

COMPAIR. High pressure pistons CNG and vehicle refuelling solutions. 2018.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da Safra Brasileira - Cana-de-açúcar. 2018. Disponível em: <[https://www.udop.com.br/download/estatistica/conab\\_levantamento\\_safras/20dez18\\_relatorio\\_cana\\_safra\\_conab.pdf](https://www.udop.com.br/download/estatistica/conab_levantamento_safras/20dez18_relatorio_cana_safra_conab.pdf)>. Acesso em: 13 maio 2021.

COOPER, DONALD; SCHINDLER, P. **Métodos de Pesquisa em Administração**. New York: Grupo A, 2016.

COX, B. *et al.* Life cycle environmental and cost comparison of current and future passenger cars under different energy scenarios. **Applied Energy**, 8 maio. 2020. v. 269, p. 115021. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030626192030533X>>.

DAHAM, R. Y.; WEI, H.; PAN, J. Improving Thermal Efficiency of Internal Combustion Engines: Recent Progress and Remaining Challenges. **Energies**, 2022. v. 15, n. 17. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/15/17/6222>>.

DAIM, T. U. *et al.* Forecasting emerging technologies: Use of bibliometrics and patent analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, 2006.

DALMO, F. C. *et al.* Energy recovery overview of municipal solid waste in São Paulo State, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 2019. v. 212, p. 461–474.

DANNEELS, E. Disruptive Technology Reconsidered: A Critique and Research Agenda. **Journal of Product Innovation Management**, 2004. v. 21, n. 4, p. 246–258. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.0737-6782.2004.00076.x>>.

DAS, H. S. *et al.* Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 8 maio. 2020. v. 120, p. 109618. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032119308251>>.

DEGHANI MADVAR, M. *et al.* Current status and future forecasting of biofuels technology development. **International Journal of Energy Research**, 2019.

DELGADO, F. *et al.* **Carros elétricos**. [S.l.]: FGV Energia, 2017.

DIGALWAR, A. K.; RASTOGI, A. Assessments of social factors responsible for adoption of electric vehicles in India: a case study. **International Journal of Energy Sector Management**, 21 set. 2022. v. ahead-of-p, n. ahead-of-print. Disponível em: <<https://doi.org/10.1108/IJESM-06-2021-0009>>.

DODGSHUN, J. Hydrogen: Clearing Up the Colours. 2020. Disponível em: <<https://www.enapter.com/newsroom/hydrogen-clearing-up-the-colours>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

DOSHI, A. *et al.* **Economic and policy issues in the production of algae-based biofuels: A review**. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**.

DUAN, H. *et al.* Regression prediction of hydrogen enriched compressed natural gas (HCNG) engine performance based on improved particle swarm optimization back propagation neural network method (IMPSO-BPNN). **Fuel**, 2023. v. 331, p. 125872. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236122026965>>.

DUANGSRIKAEW, B. *et al.* Battery Sizing for Electric Vehicles Based on Real Driving Patterns in Thailand. **World Electric Vehicle Journal**, 21 set. 2019. v. 10, n. 2, p. 43. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2032-6653/10/2/43>>.

DUBIN, D. J. *et al.* Realizing the Potential of the Los Angeles Electric Vehicle Market. **Luskin Center Electric Vehicle Research Program**, [s.d.]. p. 120. Disponível em: <[http://files/1827/Dubin et al. - Realizing the Potential of the Los Angeles Electri.pdf](http://files/1827/Dubin%20et%20al.%20-%20Realizing%20the%20Potential%20of%20the%20Los%20Angeles%20Electri.pdf)>.

DURBIN, D. J.; MALARDIER-JUGROOT, C. Review of hydrogen storage techniques for on board vehicle applications. **International Journal of Hydrogen Energy**, 27 mar. 2013. v. 38, n. 34, p. 14595–14617. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319913018053>>.

EBA. The 'European Biomethane Map 2020' shows a 51% increase of biomethane plants in Europe in two years. 2021. Disponível em: <<https://www.europeanbiogas.eu/the-european-biomethane-map-2020-shows-a-51-increase-of-biomethane-plants-in-europe-in-two-years/#:~:text=European Biomethane Map',,The analysis of the data collec-ted shows that the number,2018 to 729 in 2020.&text=biometha>>. Acesso em: 25 abr. 2021.



EHRET, O.; BONHOFF, K. Hydrogen as a fuel and energy storage: Success factors for the German Energiewende. **International Journal of Hydrogen Energy**, 26 fev. 2015. v. 40, n. 15, p. 5526–5533. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S036031991500275X>>.

EIA. Biofuels explained: Use of ethanol. 2020. Disponível em: <<https://www.eia.gov/energyexplained/biofuels/use-of-ethanol-in-depth.php>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

EL-SEESY, A. I. *et al.* Diesel-oxygenated fuels ternary blends with nano additives in compression ignition engine: A step towards cleaner combustion and green environment. **Case Studies in Thermal Engineering**, 1 jun. 2021. v. 25, p. 100911.

ELIAS, T. I.; HUNT, G. L. **A Quality Function Deployment Approach to Identifying Alternative Fuels and Vehicles Technology Needs**. Warrendale, PA: SAE International, 1993. Disponível em: <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/931784/>>.

EMODI, N. V. *et al.* A systematic literature review of societal acceptance and stakeholders' perception of hydrogen technologies. **International Journal of Hydrogen Energy**, 21 set. 2021. 5th International Conference of Chemical Engineering & Industrial Biotechnology. v. 46, n. 60, p. 30669–30697. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921024988>>.

EPA. Explaining Electric & Plug-In Hybrid Electric Vehicles. 2021. Disponível em: <<https://www.epa.gov/greenvehicles/explaining-electric-plug-hybrid-electric-vehicles>>. Acesso em: 25 mar. 2021.

EPE; MME. Plano decenal de expansão da malha de transporte dutoviário - PEMAT 2022. 2014. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-166/Relatório final PEMAT.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-166/Relatório%20final%20PEMAT.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2020.

ERNST, H. The Use of Patent Data for Technological Forecasting: The Diffusion of CNC-Technology in the Machine Tool Industry. **Small Business Economics**, 1997.

ERNST, Holger. Patent applications and subsequent changes of performance: Evidence from time-series cross-section analyses on the firm level. **Research Policy**, 2001.

\_\_\_\_\_. Patent information for strategic technology management. **World Patent Information**, 2003.

ERSHOV, M. A. *et al.* Current Challenge and Innovative Progress for Producing HVO and FAME Biodiesel Fuels and Their Applications. **Waste and Biomass Valorization**, 2023. v. 14, n. 2, p. 505–521. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12649-022-01880-0>>.

EUROPEAN BIOGAS ASSOCIATION. The contribution of the biogas and biomethane industries to medium-term greenhouse gas reduction targets and climateneutrality by 2050. 2020. Disponível em: <<https://www.europeanbiogas.eu/avoided-emissions-from-biogas-and-biomethane->

can-lead-to-a-negative-carbon-footprint/>. Acesso em: 7 jan. 2021.

EVBOX. DC fast charging stations from EVBox. 2023. Disponível em: <<https://evbox.com/en/ev-chargers/fast-charger>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

FAYYAZBAKSH, A. *et al.* Engine emissions with air pollutants and greenhouse gases and their control technologies. **Journal of Cleaner Production**, 2022. v. 376, p. 134260. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095965262203832X>>.

FCHEA. Fuel Cell Basics. 2021. Disponível em: <<https://www.fchea.org/fuelcells>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

FERNANDES, D. R. A.; LIMA, S. M. L.; CHAGNON, R. P. Contribuições do modelo Fatores Críticos de Sucesso para análise da gestão de Parcerias para o Desenvolvimento Produtivo de um laboratório oficial. **Cadernos de Saúde Pública**, 2020. v. 36, n. 2, p. 1–14.

FERNANDES, G.; MARIANI, L. **O alto potencial de produção e uso fará do biógas a próxima fronteira da energia renovável no Brasil?** [S.l.]: [s.n.], 2019. Disponível em: <[https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/27831/A28coluna\\_opiniao\\_2\\_-\\_marco.pdf](https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/27831/A28coluna_opiniao_2_-_marco.pdf)>.

FERREIRA, S. F. *et al.* Environmental impact assessment of end-uses of biomethane. **Journal of Cleaner Production**, 2019. v. 230, p. 613–621. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619315501>>.

FIAT. **Novo Fiat 500 elétrico**. Disponível em: <<https://500e.fiat.com.br/monte.html>>.

FIGENBAUM, E. *et al.* Increasing the competitiveness of e-vehicles in Europe. **European Transport Research Review**, 26 fev. 2015a. v. 7, n. 3, p. 28. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s12544-015-0177-1>>.

\_\_\_\_\_. *et al.* Increasing the competitiveness of e-vehicles in Europe. **European Transport Research Review**, 1 maio. 2015b. v. 7, n. 3, p. 28. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12544-015-0177-1>>.

FIGUEIREDO, N. J. V. De. **Utilização do biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás - estudo de caso**. São Paulo: Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2007.

FILHO, M. C. F. F.; ARRUDA, E. J. M. **Planejamento da pesquisa científica**. 2º Edição ed. São Paulo: Atlas, 2015.

FLUCHS, S. The diffusion of electric mobility in the European Union and beyond. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2020. v. 86, p. 102462. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920920306490>>.

FOLEY, B.; DEGIRMENCI, K.; YIGITCANLAR, T. Factors Affecting Electric Vehicle Uptake: Insights from a Descriptive Analysis in Australia. **Urban Science**, 28 jan.

2020. v. 4, n. 4, p. 57. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2413-8851/4/4/57>>.

FU, Q. *et al.* Performance study of solid oxide fuel cell with Ni-foam indirect internal reformer: Intrinsic reforming kinetics and temperature uniformity. **Chemical Engineering Journal**, 2023. v. 457, p. 141170. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894722066517>>.

GANDHI, H. A.; WHITE, A. D. City-Wide Modeling of Vehicle-to-Grid Economics to Understand Effects of Battery Performance. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, 21 set. 2021. v. 9, n. 44, p. 14975–14985. Disponível em: <<https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.1c05490>>.

GANESAN, V. **Internal combustion engines**. 4<sup>o</sup> Edição ed. New Delhi: McGraw-Hill Education - Europe, 2012.

GAO, L. *et al.* Technology life cycle analysis method based on patent documents. **Technological Forecasting and Social Change**, 2013.

GAY, C. *et al.* The determinants of patent citations: An empirical analysis of French and British patents in the US. **Economics of Innovation and New Technology**, 2005.

GEENHUIZEN, M. VAN; NIJKAMP, P. Coping with uncertainty: an expedition into the field of new transport technology. **Transportation Planning and Technology**, 21 set. 2003. v. 26, n. 6, p. 449–467. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/0308106032000167355>>.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2009.

GERMAN-BRAZILIAN ENERGY PARTNERSHIP. **Mapeamento do Setor de Hidrogênio Brasileiro**. Brasília: [s.n.], 2021. Disponível em: <[https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user\\_upload/brazil/media\\_elements/Mapeamento\\_H2\\_-\\_Diagramado\\_-\\_V2h.pdf](https://www.energypartnership.com.br/fileadmin/user_upload/brazil/media_elements/Mapeamento_H2_-_Diagramado_-_V2h.pdf)>.

GHOSH, A.; KATO, T.; MORITA, H. Incremental innovation and competitive pressure in the presence of discrete innovation. **Journal of Economic Behavior & Organization**, 2017. v. 135, p. 1–14. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167268116303213>>.

GLPAUTOGAS. Hydrogen Stations in japan in March 2023. 2023. Disponível em: <<https://www.glpautogas.info/en/hydrogen-stations-japan.html>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

GONÇALVES, F. De O. *et al.* Thorough evaluation of the available light-duty engine technologies to reduce greenhouse gases emissions in Brazil. **Journal of Cleaner Production**, 2022. v. 358, p. 132051. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622016584>>.

GONZÁLEZ, L. *et al.* EVIC (Electric Vehicle Intelligent Charging). [S.l.]: [s.n.], 2013. p. 1–8. Disponível em: <<http://files/1977/6914901.html>>.

GRUNDITZ, E. A.; THIRINGER, T. **Performance analysis of current BEVs based on a comprehensive review of specifications. IEEE Transactions on Transportation Electrification.**

GUSTAFSSON, M. *et al.* Scenarios for upgrading and distribution of compressed and liquefied biogas — Energy, environmental, and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, 2020. v. 256, p. 120473. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652620305205>>.

HABICH-SOBIEGALLA, S.; KOSTKA, G.; ANZINGER, N. Electric vehicle purchase intentions of Chinese, Russian and Brazilian citizens: An international comparative study. **Journal of Cleaner Production**, 20 maio. 2018. v. 205, p. 188–200. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618326799>>.

HAGMAN, J. *et al.* Total cost of ownership and its potential implications for battery electric vehicle diffusion. **Research in Transportation Business & Management**, 23 abr. 2016. Innovations in Technologies for Sustainable Transport. v. 18, p. 11–17. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210539516000043>>.

HAGOS, D. A.; AHLGREN, E. O. Well-to-wheel assessment of natural gas vehicles and their fuel supply infrastructures – Perspectives on gas in transport in Denmark. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2018.

HANG, C. C.; GARNSEY, E.; RUAN, Y. Opportunities for disruption. **Technovation**, 2015. v. 39–40, p. 83–93. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166497214001734>>.

HARDMAN, S. Understanding the impact of reoccurring and non-financial incentives on plug-in electric vehicle adoption – A review. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 2019.

\_\_\_\_\_; SHIU, E.; STEINBERGER-WILCKENS, R. Changing the fate of Fuel Cell Vehicles: Can lessons be learnt from Tesla Motors? **International Journal of Hydrogen Energy**, 2015. v. 40, n. 4, p. 1625–1638. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319914033412>>.

\_\_\_\_\_; STEINBERGER-WILCKENS, R.; HORST, D. VAN DER. Disruptive innovations: The case for hydrogen fuel cells and battery electric vehicles. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2013. v. 38, n. 35, p. 15438–15451. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319913023112>>.

\_\_\_\_\_; TAL, G. Exploring the Decision to Adopt a High-End Battery Electric Vehicle: Role of Financial and Nonfinancial Motivations. **Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board**, 26 fev. 2016. v. 2572, n. 1, p. 20–27. Disponível em: <<http://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2572-03>>.

HARRISON, G.; GÓMEZ VILCHEZ, J. J.; THIEL, C. Industry strategies for the promotion of E-mobility under alternative policy and economic scenarios. **European Transport Research Review**, 6 maio. 2018. v. 10, n. 2, p. 19. Disponível em: <<https://etr.springeropen.com/articles/10.1186/s12544-018-0296-6>>.

HASAN, S.; MATHISEN, T. A. Policy measures for electric vehicle adoption. A review of evidence from Norway and China. **ECONOMICS AND POLICY OF ENERGY AND THE ENVIRONMENT**, 21 set. 2020. v. LXII, n. 1, p. 25–46. Disponível em: <<https://ideas.repec.org/a/fan/efeefe/vhtml10.3280-efe2020-001003.html>>.

\_\_\_\_\_; SIMSEKOGLU, Ö. The role of psychological factors on vehicle kilometer travelled (VKT) for battery electric vehicle (BEV) users. **Research in Transportation Economics**, 21 set. 2020. Special Issue in honour of Finn Jørgensen. v. 82, p. 100880. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0739885920300780>>.

HASLAM, G. E.; JUPESTA, J.; PARAYIL, G. Assessing fuel cell vehicle innovation and the role of policy in Japan, Korea, and China. **International Journal of Hydrogen Energy**, 20 jan. 2012. HYFUSEN. v. 37, n. 19, p. 14612–14623. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319912015315>>.

HASSAN, M. H.; KALAM, M. A. An overview of biofuel as a renewable energy source: Development and challenges. [S.l.]: [s.n.], 2013. V. 56.

HAUSTEIN, S.; JENSEN, A. F. Factors of electric vehicle adoption: A comparison of conventional and electric car users based on an extended theory of planned behavior. **International Journal of Sustainable Transportation**, 26 fev. 2018a. v. 12, n. 7, p. 484–496. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15568318.2017.1398790>>.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. Factors of electric vehicle adoption: A comparison of conventional and electric car users based on an extended theory of planned behavior. **International Journal of Sustainable Transportation**, 2 set. 2018b. v. 12, n. 7, p. 484–496. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/15568318.2017.1398790>>.

HAWKINS, T. R. *et al.* Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. **Journal of Industrial Ecology**, 2013. v. 17, n. 1, p. 53–64. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>>.

HEDEGAARD, K. *et al.* Effects of electric vehicles on power systems in Northern Europe. **Energy**, 2012.

HELD, T.; GERRITS, L. On the road to electrification – A qualitative comparative analysis of urban e-mobility policies in 15 European cities. **Transport Policy**, 8 jun. 2019. v. 81, p. 12–23. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X18306516>>.

HEYWOOD, J. B. *et al.* **On the Road toward 2050: Potential for Substantial Reductions in Light-Duty Vehicle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions.** [S.l.]: [s.n.], 2015. Disponível em: <<https://energy.mit.edu/publication/on-the-road-toward-2050/>>.

\_\_\_\_\_. **Internal Combustion Engines Fundamentals.** 2. ed. New York: [s.n.], 2018.

HIDALGO, P. A. L.; OSTENDORP, M.; LIENKAMP, M. Optimizing the charging station placement by considering the user's charging behavior. [S.l.]: [s.n.], 2016. p. 1–7. Disponível em: <<http://files/2011/7513920.html>>.

HIGUERAS-CASTILLO, E. *et al.* Perceived Value and Customer Adoption of Electric and Hybrid Vehicles. **Sustainability**, 2019. v. 11, n. 18. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/11/18/4956>>.

HOEKMAN, S. K. *et al.* **Review of biodiesel composition, properties, and specifications. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

\_\_\_\_\_; BROCH, A.; LIU, X. (Vivian). **Environmental implications of higher ethanol production and use in the U.S.: A literature review. Part I – Impacts on water, soil, and air quality. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

HOEKSTRA, A. **The Underestimated Potential of Battery Electric Vehicles to Reduce Emissions. Joule.**

HOLLADAY, J. D. *et al.* **An overview of hydrogen production technologies. Catalysis Today.**

HORTA NOGUEIRA, L. A.; CAPAZ, R. S. Ethanol from Sugarcane in Brazil: Economic Perspectives. [S.l.]: Industrial Biorefineries & White Biotechnology, 2015, p. 237–246.

HOSSAIN, M. S. *et al.* A Comprehensive Review on the Integration of Electric Vehicles for Sustainable Development. **Journal of Advanced Transportation**, 2022. v. 2022, p. 3868388. Disponível em: <<https://doi.org/10.1155/2022/3868388>>.

HOSSEINI, S. E.; BUTLER, B. **An overview of development and challenges in hydrogen powered vehicles. International Journal of Green Energy.**

HRUDKAY, K.; JAROŠ, J. Conceptual development of electromobility in conditions of Slovak municipalities. **Acta logistica**, 8 jun. 2019. v. 6, n. 4, p. 147–154. Disponível em: <[http://actalogistica.eu/issues/2019/IV\\_2019\\_06\\_Hrudkay\\_Jaros.pdf](http://actalogistica.eu/issues/2019/IV_2019_06_Hrudkay_Jaros.pdf)>.

HUANG, D.; ZHOU, Haining; LIN, L. Biodiesel: An alternative to conventional fuel. [S.l.]: [s.n.], 2012. V. 16.

HUANG, Lucheng; WANG, N. Status and prospects of technology diffusion research based on patent information. [S.l.]: [s.n.], 2013.

HYDROGEN AND FUEL CELL TECHNOLOGIES OFFICE. Hydrogen Storage. 2021. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-storage>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

HYDROGEN FUEL CELL PARTNERSHIP. FCEV Sales, FCEB, & Hydrogen Station Data. 2023. Disponível em: <[https://h2fcp.org/by\\_the\\_numbers](https://h2fcp.org/by_the_numbers)>. Acesso em: 5 mar. 2023.

HYUNDAI MOTOR GROUP. What Makes Fuel Cell Electric Vehicles Safe? 2021.

IEA. Tracking Transport 2020. 2020a. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>>. Acesso em: 17 dez. 2020.

\_\_\_\_\_. Outlook for biogas and biomethane: Prospects for organic growth. 2020b. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth/an-introduction-to-biogas-and-biomethane>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Biomethane production and share of total biogas production that is upgraded in selected regions, 2018. 2020c. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/biomethane-production-and-share-of-total-biogas-production-that-is-upgraded-in-selected-regions-2018>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Global biomethane demand by sector in the Stated Policies Scenario, 2018-2040. 2020d. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-biomethane-demand-by-sector-in-the-stated-policies-scenario-2018-2040>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Comparative life-cycle greenhouse gas emissions over ten year lifetime of an average mid-size car by powertrain, 2018. 2020e. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/comparative-life-cycle-greenhouse-gas-emissions-over-ten-year-lifetime-of-an-average-mid-size-car-by-powertrain-2018>>. Acesso em: 7 jan. 2021.

ILHAK, M. I. *et al.* Alternative Fuels for Internal Combustion Engines. *In*: CARLUCCI, A. P. (Org.). Rijeka: IntechOpen, 2019, p. Ch. 3.

IMANINA, N. H. N.; LU, T. K.; FADHILAH, A. R. A proposed model of factors influencing hydrogen fuel cell vehicle acceptance. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, 21 set. 2016. v. 32, p. 12052. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1755-1315/32/1/012052>>.

INGEBORGRUD, L.; RYGHAUG, M. The role of practical, cognitive and symbolic factors in the successful implementation of battery electric vehicles in Norway. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 8 jun. 2019. v. 130, p. 507–516. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856419300084>>.

INMETRO. eículos leves 2023 - 15<sup>o</sup> Ciclo. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem/tabelas-de-eficiencia-energetica/veiculos-automotivos-pbe-veicular/pbe-veicular-2023.pdf/view>>. Acesso em: 5 maio 2023.

INTERNAL REVENUE SERVICE. Credits for New Clean Vehicles Purchased in 2023 or After. 2023. Disponível em: <<https://www.irs.gov/credits-deductions/credits-for-new-clean-vehicles-purchased-in-2023-or-after>>. Acesso em: 18 fev. 2023.

IRENA. Hydrogen. 2022. Disponível em: <<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydrogen#:~:text=As at the end of,around 4%25 comes from electrolysis.>>. Acesso em: 15 abr. 2023.

JAC MOTORS. **JAC IEV 40**. Disponível em:  
<[https://www.jacmotors.com.br/public/media/manual/1666803976-jac0007\\_mp\\_iev40\\_livro.pdf](https://www.jacmotors.com.br/public/media/manual/1666803976-jac0007_mp_iev40_livro.pdf)>.

\_\_\_\_\_. **Manual do proprietário JAC IEV 20**. Disponível em:  
<[https://www.jacmotors.com.br/public/media/manual/1666804217-1663100919-1641333515-manual\\_do\\_proprietario\\_iev20\\_pt\\_01\\_\\_jun\\_20.pdf](https://www.jacmotors.com.br/public/media/manual/1666804217-1663100919-1641333515-manual_do_proprietario_iev20_pt_01__jun_20.pdf)>.

JANSSON, J.; REZVANI, Z. Public responses to an environmental transport policy in Sweden: Differentiating between acceptance and support for conventional and alternative fuel vehicles. **Energy Research & Social Science**, 21 set. 2019. v. 48, p. 13–21. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629618310119>>.

JENSEN, A. F. *et al.* Demand for plug-in electric vehicles across segments in the future vehicle market. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 21 set. 2021. v. 98, p. 102976. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920921002741>>.

JOINT RESEARCH CENTRE OF THE EUROPEAN COMMISSION. **JEC Well-To-Wheels report v5**. Luxembourg: [s.n.], 2020. Disponível em:  
<<https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/jec-well-wheels-report-v5>>.

JUNG, J. *et al.* Factors affecting consumers' preferences for electric vehicle: A Korean case. **Research in Transportation Business & Management**, 21 set. 2021. v. 41, p. 100666. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210539521000493>>.

KAA, G. VAN DE *et al.* The Battle between Battery and Fuel Cell Powered Electric Vehicles: A BWM Approach. **Energies**, 26 fev. 2017. v. 10, n. 11, p. 1707. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1996-1073/10/11/1707>>.

KABLI, M. *et al.* A stochastic programming approach for electric vehicle charging station expansion plans. **International Journal of Production Economics**, 3 dez. 2020. v. 220, p. 107461. Disponível em:  
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319302713>>.

KALAMARAS, C. M.; EFSTATHIOU, A. M. Hydrogen Production Technologies: Current State and Future Developments. **Conference Papers in Energy**, 2013. v. 2013.

KAMARAJ, M.; RAMACHANDRAN, K. K.; ARAVIND, J. **Biohydrogen production from waste materials: benefits and challenges**. **International Journal of Environmental Science and Technology**.

KANE, M. China: Plug-In Car Sales Decreased Slightly In January 2023. **INSIDEEVs**, 2023. Disponível em: <<https://insideevs.com/news/656263/china-plugin-car-sales-january2023/>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

KARAKAYA, F.; KERIN, R. A. Impact of product life cycle stages on barriers to entry. **Journal of Strategic Marketing**, 2007. v. 15, n. 4, p. 269–280. Disponível em:



<<https://doi.org/10.1080/09652540701318971>>.

KARVONEN, M. *et al.* Technology competition in the internal combustion engine waste heat recovery: A patent landscape analysis. **Journal of Cleaner Production**, 2016.

KEAWTHONG, P.; MUANGSIN, V. Thailand's EV Taxi Situation and Charging Station Locations. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2021. p. 17–22. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3458359.3458364>>.

KEGL, B. Numerical analysis of injection characteristics using biodiesel fuel. **Fuel**, 2006. v. 85, n. 17–18.

\_\_\_\_\_. Influence of biodiesel on engine combustion and emission characteristics. **Applied Energy**, 2011. v. 88, n. 5.

KHAN, Muhammad Imran *et al.* Research progress in the development of natural gas as fuel for road vehicles: A bibliographic review (1991-2016). **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2016. v. 66, p. 702–741.

KHAN, S.; BRANDHERM, B.; SWAMY, A. Electric Vehicle User Behavior Prediction using Learning-based Approaches. [S.l.]: [s.n.], 2020. p. 1–5.

KHAYATI, Y.; KANG, J. E. Comprehensive scenario analysis of household use of battery electric vehicles. **International Journal of Sustainable Transportation**, 2019.

KIA. Kia Niro. 2023. Disponível em: <<https://www.kia.com.br/niro/especificacoes>>. Acesso em: 5 maio 2023.

KIM, M.-K. *et al.* Perceived value and adoption intention for electric vehicles in Korea: Moderating effects of environmental traits and government supports. **Energy**, 8 jun. 2018. v. 159, p. 799–809. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218311290>>.

KIM, S. *et al.* Heterogeneous hazard model of PEV users charging intervals: Analysis of four year charging transactions data. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 21 set. 2017. v. 82, p. 248–260. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X1730181X>>.

\_\_\_\_\_; YANG, D.; RASOULI, S. Periodicity analysis of charging behavior of electric car drivers: 13th International Conference on Design and Decision Support Systems in Architecture and Urban Planning, DDSS 2016. **13th international conference on design & decision support systems in architecture and urban planning, June 27-28, 2016, Eindhoven**, 21 set. 2016. p. 199–214. Disponível em: <<http://www.scopus.com/inward/record.url?scp=85051047773&partnerID=8YFLogxK>>.

KIM, Y. J.; WILSON, C. Analysing future change in the EU's energy innovation system. **Energy Strategy Reviews**, 2019.

KIMBLE, C.; HUA, W. **China's New Energy Vehicles: Value and Innovation.**

Disponível em: <<https://papers.ssrn.com/abstract=2322426>>.

KO, S.; SHIN, J. Projection of fuel cell electric vehicle demand reflecting the feedback effects between market conditions and market share affected by spatial factors. **Energy Policy**, 2023. v. 173, p. 113385. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421522006048>>.

KOCH, S. *et al.* Iterative integration of visual insights during patent search and analysis. [S.l.]: [s.n.], 2009.

KOMNINOS, N. P.; RAKOPOULOS, C. D. **Modeling HCCI combustion of biofuels: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

KONDA, P. Domestic deployment in the formative phase of the Chinese Electric Vehicles Sector: evolution of the policy-regimes and windows of opportunity. **Innovation and Development**, 21 set. 2022. v. 0, n. 0, p. 1–24. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/2157930X.2022.2053806>>.

KRISHNAN, V. V.; KOSHY, B. I. Evaluating the factors influencing purchase intention of electric vehicles in households owning conventional vehicles. **Case Studies on Transport Policy**, 2 set. 2021. v. 9, n. 3, p. 1122–1129. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213624X21000936>>.

KÜHL, N. *et al.* Literature vs. Twitter: Empirical insights on customer needs in e-mobility. **Journal of Cleaner Production**, 8 jun. 2019. v. 213, p. 508–520. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618337053>>.

KUMAR, Niraj. Oxidative stability of biodiesel: Causes, effects and prevention. **Fuel**, 2017. v. 190, p. 328–350. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016236116310948>>.

KUMAR, P.; BRITTER, R.; GUPTA, N. Hydrogen Fuel: Opportunities and Barriers. **Journal of Fuel Cell Science and Technology**, 21 set. 2009. v. 6, n. 2, p. 21009. Disponível em: <<https://asmedigitalcollection.asme.org/electrochemical/article/doi/10.1115/1.3005384/417252/Hydrogen-Fuel-Opportunities-and-Barriers>>.

KUMAR, R.; LAMBA, K.; RAMAN, A. Role of zero emission vehicles in sustainable transformation of the Indian automobile industry. **Research in Transportation Economics**, 2 set. 2021. v. 90, p. 101064. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0739885921000366>>.

KUMAR, R. R.; GUHA, P.; CHAKRABORTY, A. Comparative assessment and selection of electric vehicle diffusion models: A global outlook. **Energy**, 2022. v. 238, p. 121932. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544221021800>>.

KÜNLE, E.; MINKE, C. Macro-environmental comparative analysis of e-mobility adoption pathways in France, Germany and Norway. **Transport Policy**, 2 set. 2022. v. 124, p. 160–174. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X19309369>>.

KUTNEY, P. Coluna: Etanol precisa de estímulos e Brasil tem de definir rumos. **UOL**, 2022. Disponível em: <<https://motor1.uol.com.br/features/619444/coluna-etanol-estimulo-brasil-rumos/#:~:text=Segundo dados da ANP%2C Agência,10%2C5 bilhões de litros.>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

LAKATOS, E. M. **Metodologia cinetífica**. 7ª Edição ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LAMONACA, S.; RYAN, L. The state of play in electric vehicle charging services – A review of infrastructure provision, players, and policies. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2022. v. 154, p. 111733. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121010066>>.

LARSSON, T., STENLAAS, O., AND ERLANDSSON, A. Future Fuels for DISI Engines: A Review on Oxygenated, Liquid Biofuels. [S.l.]: SAE International, 2019. p. 01–0036. Disponível em: <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-01-0036/>>.

LEACH, F. *et al.* The scope for improving the efficiency and environmental impact of internal combustion engines. **Transportation Engineering**, 2020.

LEAL, F. I.; REGO, E. E.; OLIVEIRA RIBEIRO, C. DE. Natural gas regulation and policy in Brazil: Prospects for the market expansion and energy integration in Mercosul. **Energy Policy**, 2019. v. 128, n. January, p. 817–829.

LEE, C. Y.; HUH, S. Y. Forecasting the diffusion of renewable electricity considering the impact of policy and oil prices: The case of South Korea. **Applied Energy**, 2017.

LEE, J. H.; HARDMAN, S. J.; TAL, G. Who is buying electric vehicles in California? Characterising early adopter heterogeneity and forecasting market diffusion. **Energy Research & Social Science**, 2 set. 2019. v. 55, p. 218–226. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629618312258>>.

LEE, M.; KIM, K.; CHO, Youngsang. A study on the relationship between technology diffusion and new product diffusion. **Technological Forecasting and Social Change**, 2010.

LEITE, R. C.; BARBOSA CORTEZ, L. A. O Etanol Combustível no Brasil. **Revista Biocombustíveis no Brasil: Realidades e Perspectivas**, 2008. p. 15. Disponível em: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3\\_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/etanol3_000g7gq2cz702wx5ok0wtedt3xdrmfk.pdf)>.

LEMOINE, D. M.; KAMMEN, D. M.; FARRELL, A. E. An innovation and policy agenda for commercially competitive plug-in hybrid electric vehicles. **Environmental Research Letters**, 21 set. 2008. v. 3, n. 1, p. 14003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/1/014003>>.

LEMPHERS, N. *et al.* Rooted in place: Regional innovation, assets, and the politics of electric vehicle leadership in California, Norway, and Québec. **Energy Research & Social Science**, 19 set. 2022. v. 87, p. 102462. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629621005491>>.

- LEON, E. M.; MILLER, S. A. An applied analysis of the recyclability of electric vehicle battery packs. **Resources, Conservation and Recycling**, 28 abr. 2020. v. 157, p. 104593. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344919304999>>.
- LEÓN, R. *et al.* Hybrid Electric Vehicles: A Review of Existing Configurations and Thermodynamic Cycles. **Thermo**, 2021. v. 1, n. 2, p. 134–150. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2673-7264/1/2/10>>.
- LEURENT, F.; WINDISCH, E. Triggering the development of electric mobility: a review of public policies. **European Transport Research Review**, 21 set. 2011. v. 3, n. 4, p. 221–235. Disponível em: <<https://etr.springeropen.com/articles/10.1007/s12544-011-0064-3>>.
- LEXUS. **Lexus CT 200h | Lexus Brazil**. Disponível em: <[tps://lacddam.lexusasia.com/lexus-v2-brazil/manual/ct-200h/OM762-38BRA-RP\\_23\\_07.pdf](tps://lacddam.lexusasia.com/lexus-v2-brazil/manual/ct-200h/OM762-38BRA-RP_23_07.pdf)>.
- LEZAMA-NICOLÁS, R. *et al.* A bibliometric method for assessing technological maturity: the case of additive manufacturing. **Scientometrics**, 2018.
- LI, N. *et al.* Predicting monthly natural gas production in China using a novel grey seasonal model with particle swarm optimization. **Energy**, 2021. v. 215, p. 119118. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544220322258>>.
- LI, Suxiu; LIU, Y.; WANG, Jingyu. Factors affecting the electric vehicle demonstration: 14 international cities/regions cases. [S.l.]: [s.n.], 2015. p. 1–7. Disponível em: <<http://files/1954/7369676.html>>.
- LI, W. *et al.* **A review of factors influencing consumer intentions to adopt battery electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**
- LI, Zhenhe; KHAJEPOUR, A.; SONG, J. A comprehensive review of the key technologies for pure electric vehicles. **Energy**, 20 jan. 2019. v. 182, p. 824–839. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219311909>>.
- LIAO, F.; MOLIN, E.; WEE, B. VAN. Consumer preferences for electric vehicles: a literature review. **Transport Reviews**, 2017.
- LIM, M. K.; MAK, H.-Y.; RONG, Y. Toward Mass Adoption of Electric Vehicles: Impact of the Range and Resale Anxieties. **Manufacturing & Service Operations Management**, 26 fev. 2015. v. 17, n. 1, p. 101–119. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/msom.2014.0504>>.
- LIN, B.; WU, W. The impact of electric vehicle penetration: A recursive dynamic CGE analysis of China. **Energy Economics**, 2021. v. 94, p. 105086. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140988320304266>>.
- LIU, C.; LIN, Z. Early Hydrogen Station Economics Analysis. **World Electric Vehicle Journal**, 21 set. 2015. v. 7, n. 4, p. 511–517. Disponível em:

<<https://www.mdpi.com/2032-6653/7/4/511>>.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. How uncertain is the future of electric vehicle market: Results from Monte Carlo simulations using a nested logit model. **International Journal of Sustainable Transportation**, 26 fev. 2017. v. 11, n. 4, p. 237–247. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15568318.2016.1248583>>.

LIU, J.; WEI, Q. Risk evaluation of electric vehicle charging infrastructure public-private partnership projects in China using fuzzy TOPSIS. **Journal of Cleaner Production**, 26 fev. 2018. v. 189, p. 211–222. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618311302>>.

LOHSE, A. Weltweit gibt es 814 Wasserstofftankstellen – 105 sind es in Deutschland. 2023. Disponível em: <<https://power-to-x.de/weltweit-gibt-es-814-wasserstofftankstellen-105-sind-es-in-deutschland/>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

LONAN, E. S.; ARDI, R. Electric Vehicle Diffusion in the Indonesian Automobile Market: A System Dynamics Modelling. [S.l.]: [s.n.], 2020. p. 43–47.

LONG, Z.; KITT, S.; AXSEN, J. Who supports which low-carbon transport policies? Characterizing heterogeneity among Canadian citizens. **Energy Policy**, 21 set. 2021. v. 155, p. 112302. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421521001713>>.

LÖNNQVIST, T. *et al.* Stimulating biogas in the transport sector in a Swedish region – An actor and policy analysis with supply side focus. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2019. v. 113, p. 109269. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119304770>>.

LU, C. *et al.* A key stakeholder-based financial subsidy stimulation for Chinese EV industrialization: A system dynamics simulation. **Technological Forecasting and Social Change**, 26 fev. 2017. v. 118, p. 1–14. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0040162517301099>>.

LUO, W. *et al.* Research and Development of Fire Extinguishing Technology for Power Lithium Batteries. **Procedia Engineering**, 2018. v. 211, p. 531–537. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817362689>>.

ŁUSZCZYK, M. *et al.* The Development of Electromobility in the European Union: Evidence from Poland and Cross-Country Comparisons. **Energies**, 2 set. 2021. v. 14, n. 24, p. 8247. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/14/24/8247>>.

LV, H. *et al.* Energy Management Strategy of Mild Hybrid Electric Vehicle Considering Motor Power Compensation. **Machines**, 2022. v. 10, n. 11. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2075-1702/10/11/986>>.

MAGHFIROH, M. F. N.; PANDYASWARGO, A. H.; ONODA, H. Current Readiness Status of Electric Vehicles in Indonesia: Multistakeholder Perceptions. **Sustainability**, 21 set. 2021. v. 13, n. 23, p. 13177. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/23/13177>>.

MAINI, C. K. REVA Electric car: a case study of innovation at RECC. **International Journal of Technology Management**, 21 set. 2005. v. 32, n. 1–2, p. 199–212.

Disponível em:

<<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJTM.2005.006824>>.

MAK, H.-Y.; RONG, Y.; SHEN, Z.-J. M. Infrastructure Planning for Electric Vehicles with Battery Swapping. **Management Science**, 21 set. 2013. v. 59, n. 7, p. 1557–1575. Disponível em:

<<https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/mnsc.1120.1672>>.

MALIK, M.; DINCER, I.; ROSEN, M. A. **Review on use of phase change materials in battery thermal management for electric and hybrid electric vehicles. International Journal of Energy Research.**

MANOHARAN, Y. *et al.* **Hydrogen fuel cell vehicles; Current status and future prospect. Applied Sciences (Switzerland).**

MANSO, L. F. Brasil tem 27 novas plantas de biometano previstas para os próximos anos. **EPBR**, 2022. Disponível em: <<https://epbr.com.br/brasil-tem-27-novas-plantas-de-biometano-previstas-para-os-proximos-anos/>>. Acesso em: 15 fev. 2023.

MASIERO, G. *et al.* The global value chain of electric vehicles: A review of the Japanese, South Korean and Brazilian cases. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 23 abr. 2017. v. 80, p. 290–296. Disponível em:

<<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032117307980>>.

MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica.** São Paulo: Atlas, 2016.

MATTHEWS, L. *et al.* Do we have a car for you? Encouraging the uptake of electric vehicles at point of sale. **Energy Policy**, 26 fev. 2017. v. 100, p. 79–88. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301421516305432>>.

MAY, S.; KOCABIYIK, H. Design and development of an electronic drive and control system for micro-granular fertilizer metering unit. **Computers and Electronics in Agriculture**, 2019. v. 162, p. 921–930. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168169919305423>>.

MAZDA. Next-generation SKYACTIV-X Gasoline engine. 2023. Disponível em: <<https://www2.mazda.com/en/next-generation/technology/>>. Acesso em: 25 mar. 2023.

MEADE, N.; ISLAM, T. Technological Forecasting—Model Selection, Model Stability, and Combining Models. **Management Science**, 1998. v. 44, n. 8, p. 1115–1130.

MEDEIROS, J. F. DE; RIBEIRO, Jose Luis Duarte; CORTIMIGLIA, M. N. Success factors for environmentally sustainable product innovation: a systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, 2014. v. 65, p. 76–86. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652613005751>>.

MENDOZA, J.-M. F. *et al.* Environmental Impact of Public Charging Facilities for Electric Two-Wheelers. **Journal of Industrial Ecology**, 21 set. 2016. v. 20, n. 1, p.



<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919309656>>.

MORIOKA, S.; CARVALHO, M. M. De. Análise de fatores críticos de sucesso de projetos: um estudo de caso no setor varejista. **Production**, 2013.

MOSSALI, E. *et al.* Lithium-ion batteries towards circular economy: A literature review of opportunities and issues of recycling treatments. **Journal of Environmental Management**, 28 abr. 2020. v. 264, p. 110500. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301479720304345>>.

MUÑOZ, C. P. De F.; GOMES, I.; HOLLANDA, L. Cadernos FGV Energia- Gás Natural. 2014. Disponível em: <[http://www.fgv.br/fgvenergia/caderno\\_gas\\_natural/files/assets/common/downloads/Caderno\\_G.pdf](http://www.fgv.br/fgvenergia/caderno_gas_natural/files/assets/common/downloads/Caderno_G.pdf)>. Acesso em: 18 maio 2019.

MURTHY KONDA, N. V. S. N.; SHAH, N.; BRANDON, N. P. Dutch hydrogen economy: evolution of optimal supply infrastructure and evaluation of key influencing elements. **Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering**, 21 set. 2012. v. 7, n. 4, p. 534–546. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/apj.604>>.

MURUGESA PANDIAN, M.; ANAND, K. Comparison of different low temperature combustion strategies in a light duty air cooled diesel engine. **Applied Thermal Engineering**, 2018. v. 142.

MUSTAFA, H.; SHAWWA, H. Al. Industry sector contribution to the GDP. A future scenario analysis for the establishment of an electric vehicle industry in the UAE by 2040. **International Journal of Business Performance Management**, 21 set. 2019. v. 20, n. 4, p. 400. Disponível em: <<http://www.inderscience.com/link.php?id=105257>>.

N. SÖNNICHSEN. Global biodiesel production by country 2019. **Statista**, 2021a. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries/>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Hydrogen production worldwide in 2018 and 2030. **Statista**, 2021b. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1121207/global-hydrogen-production/>>. Acesso em: 12 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Leading biodiesel producers worldwide in 2021, by country. **Statista**, 2022a. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/271472/biodiesel-production-in-selected-countries/>>. Acesso em: 30 jan. 2023.

\_\_\_\_\_. Actual and potential biomethane production worldwide in 2022, by region. **Statista**, 2022b. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/1296541/global-biomethane-production-and-potential-production/#:~:text=Global biomethane production 2022%2C by region and potential&text=As of 2022%2C Europe is,biomethane production%2C at 165 MTPA.>>. Acesso em: 31 jan. 2023.

NAGULA, M. Forecasting of Fuel cell technology in hybrid and electric vehicles using Gompertz growth curve. **Journal of Statistics and Management Systems**, 23 jun. 2016. v. 19, n. 1, p. 73–88. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09720510.2014.1001601>>.



NAOR, M. *et al.* Overcoming barriers to adoption of environmentally-friendly innovations through design and strategy: Learning from the failure of an electric vehicle infrastructure firm. **International Journal of Operations & Production Management**, 26 fev. 2015. v. 35, n. 1, p. 26–59. Disponível em: <<https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/IJOPM-06-2012-0220/full/html>>.

NAQVI, M.; YAN, J. **First-Generation Biofuels. Handbook of Clean Energy Systems**. Major Reference Works. Disponível em: <<https://doi.org/10.1002/9781118991978.hces207>>.

NAVAS-ANGUITA, Z.; GARCÍA-GUSANO, D.; IRIBARREN, D. **A review of techno-economic data for road transportation fuels. Renewable and Sustainable Energy Reviews**.

NEWBOROUGH, M.; COOLEY, G. Developments in the global hydrogen market: The spectrum of hydrogen colours. **Fuel Cells Bulletin**, 2020. v. 2020, n. 11, p. 16–22. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1464285920305460>>.

NGUYEN, H. L. *et al.* Review of the Durability of Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell in Long-Term Operation: Main Influencing Parameters and Testing Protocols. **Energies**, 2021. v. 14, n. 13. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/14/13/4048>>.

NGUYEN, T.; DO, L.; SABATINI, D. A. Biodiesel production via peanut oil extraction using diesel-based reverse-micellar microemulsions. **Fuel**, 2010. v. 89, n. 9.

NGVA EUROPE. Going beyond Well-to-Wheel: Life Cycle Emissions. 2019. Disponível em: <<https://www.ngva.eu/medias/going-beyond-well-to-wheel-life-cycle-emissions/#:~:text=Well-to-Wheel emissions are,energy consumption of the vehicle.&text=In other words%3A LCA is,entire lifetime of a vehicle.>>. Acesso em: 7 jan. 2021.

NICOLAIDES, D.; CEBON, D.; MILES, J. Prospects for Electrification of Road Freight. **IEEE Systems Journal**, 2018. v. 12, n. 2, p. 1838–1849.

NICULESCU, R.; CLENCI, A.; IORGA-SIMAN, V. Review on the Use of Diesel–Biodiesel–Alcohol Blends in Compression Ignition Engines. **Energies**, 2019. v. 12, n. 7. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/12/7/1194>>.

NISSAN. **Manual do proprietário Nissan Leaf**. Disponível em: <<https://www.nissan.com.br/content/dam/Nissan/br/site/servicos/manuais/leaf-2023/MP-LEAF-2023.pdf>>.

NISSAN MOTOR CORPORATION. A fuel cell system that generates electricity from bioethanol to power a vehicle. 2021. Disponível em: <[https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e\\_bio\\_fuel\\_cell.html](https://www.nissan-global.com/EN/TECHNOLOGY/OVERVIEW/e_bio_fuel_cell.html)>. Acesso em: 4 abr. 2021.

NOH, H. K.; NO, S. Y. **Effect of bioethanol on combustion and emissions in advanced CI engines: HCCI, PPC and GCI mode – A review. Applied Energy**.

NONOBE, Y. **Development of the fuel cell vehicle mirai. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering.**

NORSK ELBILFORENING. Norwegian EV policy. 2023. Disponível em: <<https://elbil.no/english/norwegian-ev-policy/>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

NOUR, M.; ATTIA, A. M. A.; NADA, S. A. Combustion, performance and emission analysis of diesel engine fuelled by higher alcohols (butanol, octanol and heptanol)/diesel blends. **Energy Conversion and Management**, 1 abr. 2019. v. 185, p. 313–329.

NOUSSAN, M. *et al.* The Role of Green and Blue Hydrogen in the Energy Transition—A Technological and Geopolitical Perspective. **Sustainability**, 2021. v. 13, n. 1. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/1/298>>.

NOVACANA. Consumo de combustíveis cresce em 2022, mas etanol registra queda de 7,5%. 2023. Disponível em: <<https://www.novacana.com/noticias/consumo-combustiveis-cresce-2022-etanol-registra-queda-7-5-010223>>. Acesso em: 15 abr. 2023.

OBSERVATÓRIO DA CANA. Consumo de combustíveis. 2020. Disponível em: <<https://observatoriodacana.com.br/sub.php?menu=consumo>>. Acesso em: 8 jan. 2021.

OEHMICHEN, K. *et al.* Technical principles and methodology for calculating GHG balances of biomethane. 2016. Disponível em: <[https://www.dbfz.de/fileadmin/user\\_upload/Referenzen/Broschueren/Handreichung\\_Biomethane\\_englisch.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin/user_upload/Referenzen/Broschueren/Handreichung_Biomethane_englisch.pdf)>. Acesso em: 13 set. 2020.

OLTRA, V.; JEAN, M. Saint. Variety of technological trajectories in low emission vehicles (LEVs): A patent data analysis. **Journal of Cleaner Production**, jan. 2009. v. 2, n. 17, p. 201–213. Disponível em: <<https://www.infona.pl/resource/bwmeta1.element.elsevier-4e07ae8d-0f08-323b-9201-b6de912e6f35>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

ORHAN B ALANKUS. Technology Forecast for Electrical Vehicle Battery Technology and Future Electric Vehicle Market Estimation. **Adv Automob Eng**, 2017. v. 6, n. 2, p. 164. Disponível em: <<https://www.longdom.org/open-access/technology-forecast-for-electrical-vehicle-battery-technology-and-future-electric-vehicle-market-estimation-16118.html>>.

ORSI, F. *et al.* A multi-dimensional well-to-wheels analysis of passenger vehicles in different regions: Primary energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions, and economic cost. **Applied Energy**, 2016. v. 169.

OU, S.; GOHLKE, D.; LIN, Z. Quantifying the impacts of micro- and mild- hybrid vehicle technologies on fleetwide fuel economy and electrification. **eTransportation**, 2020. v. 4, p. 100058. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590116820300151>>.

OVERHEID.NL. Subsidieregeling elektrische personenauto's particulieren. 2023. Disponível em: <<https://wetten.overheid.nl/BWBR0043600/2023-01-01>>. Acesso em:

18 fev. 2023.

PALA, Z. Comparative study on monthly natural gas vehicle fuel consumption and industrial consumption using multi-hybrid forecast models. **Energy**, 2023. v. 263, p. 125826. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222027128>>.

PANDEY, D. A.; MANOCHA, D. S.; SAINI, D. P. A Study on an Automobile Revolution and Future of Electric Cars in India. **International Journal of Management**, 28 jan. 2020. v. 11, n. 3, p. 107–113. Disponível em: <<https://papers.ssrn.com/abstract=3568382>>.

PEI, P. *et al.* Key technologies for polymer electrolyte membrane fuel cell systems fueled impure hydrogen. **Progress in Natural Science: Materials International**, 2020. v. 30, n. 6, p. 751–763. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1002007120304858>>.

PELLETIER, S.; JABALI, O.; LAPORTE, G. 50th Anniversary Invited Article—Goods Distribution with Electric Vehicles: Review and Research Perspectives. **Transportation Science**, 2016.

PETERS, A.; DÜTSCHKE, E. How do Consumers Perceive Electric Vehicles? A Comparison of German Consumer Groups. **Journal of Environmental Policy & Planning**, 21 set. 2014. v. 16, n. 3, p. 359–377. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/1523908X.2013.879037>>.

PETRAVIĆ-TOMINAC, V. *et al.* Current state of biogas production in Croatia. **Energy, Sustainability and Society**, 2020. v. 10, n. 1, p. 8. Disponível em: <<https://doi.org/10.1186/s13705-020-0243-y>>.

PFAHL, S.; JOCHEM, P.; FICHTNER, W. When will electric vehicles capture the German market? And why? [S.l.]: [s.n.], 2013. p. 1–12. Disponível em: <<http://files/1899/Pfahl et al. - 2013 - When will electric vehicles capture the German mar.pdf>>.

PILKINGTON, A.; DYERSON, R. INCUMBENCY AND THE DISRUPTIVE REGULATOR: THE CASE OF ELECTRIC VEHICLES IN CALIFORNIA. **International Journal of Innovation Management**, 2004. v. 08, n. 04, p. 339–354. Disponível em: <<https://doi.org/10.1142/S1363919604001106>>.

PINTO, B. *et al.* Fleet Transition from Combustion to Electric Vehicles: A Case Study in a Portuguese Business Campus. **Energies**, 28 jan. 2020. v. 13, n. 5, p. 1267. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/5/1267>>.

**Policy Simulation of Electricity-Based Vehicle Utilization in Indonesia (Electrified Vehicle - HEV, PHEV, BEV and FCEV) | Automotive Experiences.** Disponível em: <<https://journal.unimma.ac.id/index.php/AutomotiveExperiences/article/view/2020>>.

POLLET, B. G.; KOCHA, S. S.; STAFFELL, I. **Current status of automotive fuel cells for sustainable transport. Current Opinion in Electrochemistry.**

PORSCHE. **Cayenne E-Hybrid**. Disponível em:

<<https://www.porsche.com/brazil/pt/models/cayenne/cayenne-models/cayenne-e-hybrid/>>.

PRUSSI, M. *et al.* Review of technologies for biomethane production and assessment of Eu transport share in 2030. **Journal of Cleaner Production**, 2019. v. 222, n. 2019, p. 565–572.

PURICELLI, S. *et al.* Life Cycle Assessment of innovative fuel blends for passenger cars with a spark-ignition engine: A comparative approach. **Journal of Cleaner Production**, 2022. v. 378, p. 134535. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652622041075>>.

RAJENDRAN, K.; MURTHY, G. S. Techno-economic and life cycle assessments of anaerobic digestion – A review. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, 2019. v. 20, p. 101207. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1878818119306322>>.

RAMACHANDRAN, S.; STIMMING, U. Well to wheel analysis of low carbon alternatives for road traffic. **Energy and Environmental Science**, 2015. v. 8, n. 11.

RAMEA, K. An integrated quantitative-qualitative study to monitor the utilization and assess the perception of hydrogen fueling stations. **International Journal of Hydrogen Energy**, 8 jun. 2019. v. 44, n. 33, p. 18225–18239. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319919318841>>.

RAMES, C. *et al.* A data-driven mobility&ndash;energy typology framework for New York State. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, 28 jan. 2020. v. 48, n. 8, p. 2254–2271. Disponível em: <<https://www.scilit.net/article/9d91c3d9c83916a0b7f3f3698f86d0a9>>.

\_\_\_\_\_ *et al.* A data-driven mobility–energy typology framework for New York State. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, 21 set. 2021. v. 48, n. 8, p. 2254–2271. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/2399808320974032>>.

RANAEI, S. *et al.* Patent-based technology forecasting: case of electric and hydrogen vehicle. **International Journal of Energy Technology and Policy**, 2016. v. 12, n. 1, p. 20–40. Disponível em: <<https://www.inderscienceonline.com/doi/abs/10.1504/IJETP.2016.074490>>.

RAUH, N.; FRANKE, T.; KREMS, J. F. Understanding the impact of electric vehicle driving experience on range anxiety. **Human Factors**, 2015. v. 57, n. 1, p. 177–187. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25790577>>.

RAYMOND A. SUTULA *et al.* US National Laboratory R&D Programs in Support of Electric and Hybrid Electric Vehicle Batteries. **SAE Technical Papers**, 2002. p. 786–796.

REITZ, R. D. *et al.* IJER editorial: The future of the internal combustion engine: <https://doi.org/10.1177/1468087419877990>, 24 set. 2019. v. 21, n. 1, p. 3–10. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/1468087419877990>>.

Acesso em: 16 ago. 2021.

REN, J. New energy vehicle in China for sustainable development: Analysis of success factors and strategic implications. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, 2018. v. 59, p. 268–288. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1361920917306703>>.

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE. Impôt sur le revenu - Installation de bornes de charge pour véhicule électrique (crédit d'impôt). 2023. Disponível em: <<https://www.service-public.fr/particuliers/vosdroits/F35578>>. Acesso em: 18 fev. 2023.

RICARDO, M. B.; APOSTOLOS, P.; YANG, M. Y. Overview of boosting options for future downsized engines. **Science China Technological Sciences**, 2011. v. 54, n. 2.

RIETMANN, N.; LIEVEN, T. How policy measures succeeded to promote electric mobility – Worldwide review and outlook. **Journal of Cleaner Production**, 1 maio. 2019a. v. 206, p. 66–75. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618328415>>.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. How policy measures succeeded to promote electric mobility – Worldwide review and outlook. **Journal of Cleaner Production**, 20 maio. 2019b. v. 206, p. 66–75. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652618328415>>.

RIGO, P. D. *et al.* Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil? **Journal of Cleaner Production**, 2019. v. 240, p. 118243. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652619331130>>.

ROCKOFF, E. *et al.* Method for the Continuous Analysis and Forecast of the Demand for Charging Power of Electric Vehicles at the Public Charging Infrastructure in Hamburg. [S.l.]: VDE Verlag, 2019. p. 178–182. Disponível em: <<https://reposit.haw-hamburg.de/handle/20.500.12738/11351>>.

RODRIGUEZ, A. S. *et al.* A feasibility study of solar PV-powered electric cars using an interdisciplinary modeling approach for the electricity balance, CO2 emissions, and economic aspects: The cases of The Netherlands, Norway, Brazil, and Australia. **Progress in Photovoltaics: Research and Applications**, 26 abr. 2019. v. n/a, n. n/a. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/pip.3202>>.

ROGER GOTTLIBEN, A. T.; PUURUNEN, K.; POIKOLAINEN, H. **Climate impact of a passenger car in Sweden**. [S.l.]: [s.n.], 2021. Disponível em: <<https://energiforsk.se/media/29585/climate-impact-of-a-passenger-car-in-sweden-energiforskrappport-2021-724.pdf>>.

ROVAL, F. F. *et al.* **COMBUSTÍVEIS RENOVÁVEIS E ESTRATÉGIAS DE PROPULSÃO APLICADOS NA DESCARBONIZAÇÃO DA MOBILIDADE**. [S.l.]: [s.n.], 2022. Disponível em: <<https://d335luupugsy2.cloudfront.net/cms%2Ffiles%2F367332%2F1657559339Com-bustiveis-renovaveis-e-estrategias-propulsao-aplicados-a-descarbonizacao.pdf>>.

RUOSO, A. C.; RIBEIRO, José Luis Duarte. The influence of countries' socioeconomic characteristics on the adoption of electric vehicle. **Energy for Sustainable Development**, 2022. v. 71, p. 251–262. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0973082622001843>>.

SALGADO, R. M. *et al.* The Latest Trends in Electric Vehicles Batteries. **Molecules (Basel, Switzerland)**, maio. 2021. v. 26, n. 11.

SANGLE, S. Critical success factors for corporate social responsibility: A public sector perspective. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, 2010.

SARATALE, G. D. *et al.* Biohydrogen Production From Renewable Biomass Resources. **Biohydrogen**. [S.l.]: [s.n.], 2019.

SARITAS, O.; MEISSNER, D.; SOKOLOV, A. A Transition Management Roadmap for Fuel Cell Electric Vehicles (FCEVs). **Journal of the Knowledge Economy**, 2019.

SAXENA, S.; BEDOYA, I. D. **Fundamental phenomena affecting low temperature combustion and HCCI engines, high load limits and strategies for extending these limits. Progress in Energy and Combustion Science.**

SCHICKRAM, S.; GLEYZES, D.; LIENKAMP, M. Evaluation of the Electromobility Potential Index and results for 46 major cities. [S.l.]: [s.n.], 2013. p. 1–9. Disponível em: <<http://files/1890/6914851.html>>.

SCHIFFBAENKER, P.; SHANKAVARAM, R. Following the path to electrification with a holistic battery development approach. [S.l.]: [s.n.], 2017. p. 1–6. Disponível em: <<http://files/1834/8333833.html>>.

SCHOT, J.; HOOGMA, R.; ELZEN, B. Strategies for shifting technological systems: The case of the automobile system. **Futures**, 21 set. 1994. v. 26, n. 10, p. 1060–1076. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016328794900736>>.

SCHUH, G. *et al.* Scenarios for the Development of Electromobility. [S.l.]: Association for Computing Machinery, 2018. p. 174–178. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3208854.3208866>>.

SCHWARTZ, H. J. A summary of EHV propulsion technology. **IEEE Transactions on Vehicular Technology**, 1983. v. 32, n. 1, p. 3–6.

SHAKEEL, U. Electric vehicle development in Pakistan: Predicting consumer purchase intention. **Cleaner and Responsible Consumption**, 21 set. 2022. v. 5, p. 100065. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666784322000195>>.

SHARAFIAN, A.; BLOMERUS, P.; MÉRIDA, W. Natural gas as a ship fuel: Assessment of greenhouse gas and air pollutant reduction potential. **Energy Policy**, 2019. v. 131, p. 332–346. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421519303118>>.

SHEPHERD, S.; BONSTALL, P.; HARRISON, G. Factors affecting future demand for electric vehicles: A model based study. **Transport Policy**, 21 set. 2012. URBAN TRANSPORT INITIATIVES. v. 20, p. 62–74. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0967070X11001387>>.

SHIN, J.; LEE, C. Y.; KIM, H. Technology and demand forecasting for carbon capture and storage technology in South Korea. **Energy Policy**, 2016.

SHOM, S.; ALAHMAD, M. Determining optimal locations of electrified transportation infrastructure on interstate/ us-highways. [S.l.]: [s.n.], 2017. p. 1–7. Disponível em: <<http://files/2015/8263302.html>>.

SHOW, K. Y. *et al.* Biohydrogen production: Current perspectives and the way forward. [S.l.]: [s.n.], 2012. V. 37.

SIAPARTNERS. 6th European Biomethane Benchmark. 2022. Disponível em: <<https://www.sia-partners.com/en/news-and-publications/from-our-experts/6th-european-biomethane-benchmark>>. Acesso em: 30 jan. 2021.

SICK, N. *et al.* The legend about sailing ship effects – Is it true or false? The example of cleaner propulsion technologies diffusion in the automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, 2016. v. 137.

SILVA CÉSAR, A. DA *et al.* Hydrogen productive chain in Brazil: An analysis of the competitiveness' drivers. **Journal of Cleaner Production**, 19 maio. 2019. v. 207, p. 751–763. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652618328804>>.

SILVA, R. E. DA; SOBRINHO, P. M.; SOUZA, T. M. DE. How can energy prices and subsidies accelerate the integration of electric vehicles in Brazil? An economic analysis. **The Electricity Journal**, 23 abr. 2018. v. 31, n. 3, p. 16–22. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1040619018300629>>.

SINGH, A.; LETHA, S. S. **Emerging energy sources for electric vehicle charging station. Environment, Development and Sustainability.**

SINGH, Devendra; SUBRAMANIAN, K. A.; GARG, M. O. Comprehensive review of combustion, performance and emissions characteristics of a compression ignition engine fueled with hydroprocessed renewable diesel. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2018. v. 81, p. 2947–2954. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032117310419>>.

SINGH, K. V.; BANSAL, H. O.; SINGH, Dheerendra. A comprehensive review on hybrid electric vehicles: architectures and components. **Journal of Modern Transportation**, 5 nov. 2019. v. 27, n. 2, p. 77–107. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s40534-019-0184-3>>.

SINGH, S. P.; SINGH, Dipti. **Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

SINHUBER, P.; ROHLFS, W.; SAUER, D. U. Study on power and energy demand for

sizing the energy storage systems for electrified local public transport buses. [S.l.]: [s.n.], 2012. p. 315–320. Disponível em: <<http://files/1951/6422680.html>>.

SINIGAGLIA, T. *et al.* Production, storage, fuel stations of hydrogen and its utilization in automotive applications-a review. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2017. v. 42, n. 39.

SIQI, Z. *et al.* Recovery methods and regulation status of waste lithium-ion batteries in China: A mini review. **Waste Management & Research**, 29 abr. 2019. v. 37, n. 11, p. 1142–1152. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0734242X19857130>>.

SKRÚCANÝ, T. *et al.* Impact of the electric mobility implementation on the greenhouse gases production in Central European countries. **Sustainability (Switzerland)**, 2019. v. 11, n. 18.

SLOWIK, P. *et al.* ASSESSMENT OF LIGHT-DUTY ELECTRIC VEHICLE COSTS AND CONSUMER BENEFITS IN THE UNITED STATES IN THE 2022–2035 TIME FRAME. **ICCT**, 2022. Disponível em: <<https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/10/ev-cost-benefits-2035-oct22.pdf>>. Acesso em: 5 maio 2023.

SOLOUK, A. *et al.* Fuel consumption assessment of a multi-mode low temperature combustion engine as range extender for an electric vehicle. **Energy Conversion and Management**, 2017. v. 148.

SOUSA DIAS, J. M. C. DE. O uso do etanol como combustível no Brasil vai completar um século! **Panorama**, 2012. v. 5, p. 12–13. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/955037/1/Agroenergiaemrevis tan.5Cabral.pdf>>.

SOUZA DIAS, M. O. DE *et al.* Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development**, 2015. v. 15.

SOUZA, S. N. M. DE *et al.* Gas emission and efficiency of an engine-generator set running on biogas. **Brazilian Association of Agricultural Engineering**, 2016. v. 36, n. 4, p. 613–621.

SPGLOBAL. EV sales momentum to face challenges in 2023, but long-term expectations unaffected. 2023. Disponível em: <<https://www.spglobal.com/commodityinsights/en/market-insights/blogs/metals/013123-ev-sales-momentum-to-face-challenges-in-2023-but-long-term-expectations-unaffected>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

SROKA, Z. J. Some aspects of thermal load and operating indexes after downsizing for internal combustion engine. [S.l.]: [s.n.], 2012. V. 110.

STAMPATORI, D.; RAIMONDI, P. P.; NOUSSAN, M. Li-Ion Batteries: A Review of a Key Technology for Transport Decarbonization. **Energies**, 3 dez. 2020. v. 13, n. 10, p. 2638. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/1996-1073/13/10/2638>>.

STATISTA. Number of gasoline station establishments in the United States from 2013 to 2017. 2022. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/525107/number-of-gasoline-stations-in-the-united-states/>>. Acesso em: 15 mar. 2023.



STEINHILBER, S.; WELLS, P.; THANKAPPAN, S. Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles. **Energy Policy**, 21 set. 2013. v. 60, p. 531–539. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513003303>>.

SUN, Z. *et al.* Significant Impact of Flash Boiling Spray on In-Cylinder Soot Formation and Oxidation Process. **Energy & Fuels**, 20 ago. 2020. v. 34, n. 8, p. 10030–10038. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acs.energyfuels.0c01942>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

\_\_\_\_\_. *et al.* Investigation of Flash Boiling Spray and Combustion in SIDI Engine under Low-Speed Homogeneous Lean Operation. **SAE Technical Papers**, 6 abr. 2021. n. 2021. Disponível em: <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2021-01-0467/>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

TANG, Y. *et al.* The social-economic-environmental impacts of recycling retired EV batteries under reward-penalty mechanism. **Applied Energy**, 29 abr. 2019. v. 251, p. 113313. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919309870>>.

TASHIE-LEWIS, B. C.; NNABUIFE, S. G. Hydrogen Production, Distribution, Storage and Power Conversion in a Hydrogen Economy - A Technology Review. **Chemical Engineering Journal Advances**, 2021. v. 8, p. 100172. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666821121000880>>.

TAYLOR, A. M. K. P. Science review of internal combustion engines. **Energy Policy**, 2008. v. 36, n. 12.

THIEME, E. *et al.* Catálogo de tecnologias e empresas de biogás. 2015. Disponível em: <<https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-catalogo.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2020.

THORGEIRSSON, A. T. *et al.* An Investigation Into Key Influence Factors for the Everyday Usability of Electric Vehicles. **IEEE Open Journal of Vehicular Technology**, 2020. v. 1, p. 348–361. Disponível em: <[http://files/1715/Thorgeirsson et al. - 2020 - An Investigation Into Key Influence Factors for th.pdf](http://files/1715/Thorgeirsson%20et%20al.%20-%20An%20Investigation%20Into%20Key%20Influence%20Factors%20for%20th.pdf)>.

TIE, S. F.; TAN, Chee Wei. **A review of energy sources and energy management system in electric vehicles. Renewable and Sustainable Energy Reviews.**

TOMANIK, E.; POLICARPO, E.; ROVAI, F. Life Cycle Assessment of Vehicular Electrification. [S.l.]: SAE International, 2022. Disponível em: <<https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2021-36-0042/>>.

TOYOTA. **2019 Toyota Mirai Owners Manual and Warranty - Toyota Owners.** Disponível em: <<https://www.toyota.com/owners/resources/warranty-owners-manuals/mirai/2019>>.

\_\_\_\_\_. **Manual do proprietário Corolla.** Disponível em: <<https://media.toyota.com.ar/38e571a7-4b2b-44cc-b436-435e08278da0.pdf>>.

TRANFIELD, D.; DENYER, D.; SMART, P. Towards a Methodology for Developing

Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. **British Journal of Management**, 2003. v. 14, n. 3, p. 207–222. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/1467-8551.00375>>.

TRAPPEY, C. V. *et al.* Using patent data for technology forecasting: China RFID patent analysis. **Advanced Engineering Informatics**, 2011.

TRUONG, D.; TRUONG, M. D. Projecting daily travel behavior by distance during the pandemic and the spread of COVID-19 infections – Are we in a closed loop scenario? **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, 2021. v. 9, p. 100283. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590198220301949>>.

TSHEMESE, Z. *et al.* An Overview of Biogas Production from Anaerobic Digestion and the Possibility of Using Sugarcane Wastewater and Municipal Solid Waste in a South African Context. **Applied System Innovation**, 2023. v. 6, n. 1. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2571-5577/6/1/13>>.

TSUDA, K. *et al.* Design proposal for hydrogen refueling infrastructure deployment in the Northeastern United States. **International Journal of Hydrogen Energy**, 21 set. 2014. v. 39, n. 14, p. 7449–7459. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319914006053>>.

U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Alternative fuels data center: Us production, consumption and trade of ethanol. 2020a. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/data/10323>>. Acesso em: 8 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Alternative fuels data center: How Do Plug-In Hybrid Electric Cars Work? 2020b. Disponível em: <<https://afdc.energy.gov/vehicles/how-do-plug-in-hybrid-electric-cars-work>>. Acesso em: 8 jan. 2021.

\_\_\_\_\_. Alternative fuels data center: Ethanol Benefits and Considerations. 2021a. Disponível em: <[https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol\\_benefits.html](https://afdc.energy.gov/fuels/ethanol_benefits.html)>. Acesso em: 14 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Alternative fuels data center: Biodiesel Production and Distribution. 2021b. Disponível em: <[https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel\\_production.html](https://afdc.energy.gov/fuels/biodiesel_production.html)>. Acesso em: 12 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Alternative fuels data center: Hydrogen Production and Distribution. 2021c. Disponível em: <[https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen\\_production.html](https://afdc.energy.gov/fuels/hydrogen_production.html)>. Acesso em: 12 abr. 2021.

\_\_\_\_\_. Types of Fuel Cells. 2021d. Disponível em: <<https://www.energy.gov/eere/fuelcells/types-fuel-cells>>. Acesso em: 23 mar. 2021.

\_\_\_\_\_; EPA. Biodiesel. 2021. Disponível em: <<https://www.fueleconomy.gov/feg/biodiesel.shtml>>. Acesso em: 14 abr. 2021.

UL-HAQ, A. *et al.* Electric Transportation in Pakistan Under CPEC Project: Technical Framework and Policy Implications. **IEEE Access**, 2020. v. 8, p. 162394–162420. Disponível em: <<http://files/1880/UI-Haq et al. - 2020 - Electric Transportation in>>

Pakistan Under CPEC Pro.pdf>.

UN-NOOR, F. *et al.* **A comprehensive study of key electric vehicle (EV) components, technologies, challenges, impacts, and future direction of development. Energies.**

UNICA. Missão conhece produção de etanol no Brasil. 2022. Disponível em: <[VAUDREY, A. Thermodynamics of indirect water injection in internal combustion engines: theoretical assessment of the fresh mixture cooling effect. \*\*International Journal of Engine Research\*\*, 2017. p. 27. Disponível em: <<https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1468087418766931>>.](https://unica.com.br/noticias/missao-conhece-producao-de-etanol-no-brasil/#:~:text=Atualmente%2C são cerca de 360,dados do Ministério da Economia.>. Acesso em: 15 mar. 2023.</p>
</div>
<div data-bbox=)

VERHELST, S. **Recent progress in the use of hydrogen as a fuel for internal combustion engines. International Journal of Hydrogen Energy.**

VERMA, S. *et al.* A comprehensive review on energy storage in hybrid electric vehicle. **Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)**, 2021. v. 8, n. 5, p. 621–637. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756421000842>>.

VERMAAK, H. J.; KUSAKANA, K. Design of a photovoltaic–wind charging station for small electric Tuk–tuk in D.R.Congo. **Renewable Energy**, 21 set. 2014. *Renewable Energy for Sustainable Development and Decarbonisation*. v. 67, p. 40–45. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148113005971>>.

VIOLA, F. Electric Vehicles and Psychology. **Sustainability**, 21 set. 2021. v. 13, n. 2, p. 719. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2071-1050/13/2/719>>.

VIZCAÍNO, A. J. *et al.* Hydrogen production by steam reforming of ethanol using Ni catalysts based on ternary mixed oxides prepared by coprecipitation. [S.l.]: [s.n.], 2012. V. 37.

VOLKSWAGEN. Electric vehicle subsidies What's changing in 2023. 2023. Disponível em: <<https://www.volkswagenag.com/en/news/fleet-customer/2022/12/electric-vehicle-subsidies.html#>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

VOLVO TRUCKS. alternative fuels for trucks: a guide to the pros and cons. 2020. Disponível em: <<https://www.volvotrucks.com/content/dam/volvo-trucks/markets/master/home/news/insights/articles/pdfs/2020/hydrogen-fuel-cells-all-your-questions-answered/Alternative-fuels-for-trucks-A-guide-to-the-pros-and-cons.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

WAN, J. *et al.* A review of water injection application on spark-ignition engines. **Fuel Processing Technology**, 1 out. 2021. v. 221, p. 106956.

WANG, J. Y.; LIU, Y. Q.; KOKKO, A. The Electric Vehicle Development: Experiences Aboard and Enlightenment to China. **Applied Mechanics and Materials**, 21 set.

2014. v. 541–542, p. 1549–1555. Disponível em:  
<<https://www.scientific.net/AMM.541-542.1549>>.

WANG, Jiajia *et al.* **Review on multi-power sources dynamic coordinated control of hybrid electric vehicle during driving mode transition process.** *International Journal of Energy Research*.

WANG, N.; YAN, R. Research on Consumers' Use Willingness and Opinions of Electric Vehicle Sharing: An Empirical Study in Shanghai. *Sustainability*, 26 fev. 2015. v. 8, n. 1, p. 7. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2071-1050/8/1/7>>.

WANG, Y. H.; TRAPPEY, A. J. C.; TRAPPEY, C. V. Life cycle analysis of the optical disc industry market innovation and development. *Innovation: Management, Policy and Practice*, 2015.

WARTH, A.; LINDNER, J. Entenda como funciona o mercado de gás natural no Brasil. *Estadão*, 2019. Disponível em:  
<<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,entenda-como-funciona-o-mercado-de-gas-no-brasil,70002935960>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

WAŹRÓBSKI, J. *et al.* Multi-Criteria Analysis of Electric Vans for City Logistics. *Sustainability*, 26 fev. 2017. v. 9, n. 8, p. 1453. Disponível em:  
<<http://www.mdpi.com/2071-1050/9/8/1453>>.

WEHNER, G. Switzerland could ban electric vehicle use during energy crisis: reports. *FOXBusiness*, 2022. Disponível em:  
<<https://www.foxbusiness.com/politics/switzerland-could-ban-electric-vehicle-use-during-energy-crisis-reports>>. Acesso em: 10 mar. 2023.

WILKEN, R. Countering diffusion and embrittlement in the storage and transport of hydrogen. 2023. Disponível em:  
<<https://www.ifam.fraunhofer.de/en/magazine/hydrogen-diffusion-preventing.html>>. Acesso em: 5 maio 2023.

WILLIAMS COMPANIES. What are the colors of hydrogen? 2021. Disponível em:  
<<https://www.williams.com/2021/04/23/what-are-the-colors-of-hydrogen/>>. Acesso em: 5 maio 2023.

WIPO. International Patent Classification. 2021. Disponível em:  
<<https://www.wipo.int/classifications/ipc/ipcpub/>>. Acesso em: 13 abr. 2021.

WORLD ECONOMIC FORUM. The world needs 2 billion electric vehicles to get to net zero. But is there enough lithium to make all the batteries? 2022. Disponível em:  
<<https://www.weforum.org/agenda/2022/07/electric-vehicles-world-enough-lithium-resources/>>. Acesso em: 20 abr. 2023.

WU, J. China may add 106 hydrogen refueling stations in 2022. *China Hydrogen Bulletin*, 2022. Disponível em: <<https://chinahydrogen.substack.com/p/china-may-add-106-hydrogen-refueling>>. Acesso em: 20 fev. 2023.

WU, Ya; ZHANG, Li. Can the development of electric vehicles reduce the emission of air pollutants and greenhouse gases in developing countries? *Transportation*

**Research Part D: Transport and Environment**, 2017. v. 51.

WU, Yingwen *et al.* Technological capability, eco-innovation performance, and cooperative R&D strategy in new energy vehicle industry: Evidence from listed companies in China. **Journal of Cleaner Production**, 5 maio. 2020. v. 261, p. 121157. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965262031204X>>.

WU, Z.; MA, Q.; LI, C. Performance investigation and analysis of market-oriented low-speed electric vehicles in China. **Journal of Cleaner Production**, 26 fev. 2015. v. 91, p. 305–312. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614012852>>.

XIAN MIAN, T.; AZIMOV, U. Diesel engine downsizing with application of biofuels. **International Journal of Energy & Environment**, 2017. v. 8, n. 5, p. 413–426. Disponível em: <[https://www.ijee.ieefoundation.org/vol8/issue5/IJEE\\_05\\_v8n5.pdf](https://www.ijee.ieefoundation.org/vol8/issue5/IJEE_05_v8n5.pdf)>.

XU, Chengjian *et al.* Future greenhouse gas emissions of automotive lithium-ion battery cell production. **Resources, Conservation and Recycling**, 2022. v. 187, p. 106606. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344922004402>>.

XU, Chuanbo; WU, Yunna; DAI, S. What are the critical barriers to the development of hydrogen refueling stations in China? A modified fuzzy DEMATEL approach. **Energy Policy**, 28 jan. 2020. v. 142, p. 111495. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030142152030241X>>.

YE, C. *et al.* Investigations on the Optimal Ignition Strategy of Internal Combustion Engines via Various Spark Discharge Conditions. **Energy & Fuels**, 19 nov. 2020. v. 34, n. 11, p. 14814–14821. Disponível em: <<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.energyfuels.0c02698>>. Acesso em: 16 ago. 2021.

YOO, E.; KIM, Myoungsoo; SONG, H. H. Well-to-wheel analysis of hydrogen fuel-cell electric vehicle in Korea. **International Journal of Hydrogen Energy**, 14 maio. 2018. v. 43, n. 41, p. 19267–19278. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360319918326296>>.

YOON, J. *et al.* **Tracing evolving trends in printed electronics using patent information. Journal of Nanoparticle Research.**

\_\_\_\_\_ *et al.* Tracing the Evolving Trends in Electronic Skin (e-Skin) Technology Using Growth Curve and Technology Position-Based Patent Bibliometrics. **IEEE Access**, 2018.

YUAN, P. X.; CAI, Yuchen. Forecasting the development trend of low emission vehicle technologies: Based on patent data. **Technological Forecasting and Social Change**, 1 maio. 2021. v. 166, p. 120651.

YUAN, X.; LI, Xiaotao. Mapping the technology diffusion of battery electric vehicle based on patent analysis: A perspective of1. Yuan, X.; Li, X. Mapping the technology diffusion of battery electric vehicle based on patent analysis: A perspective of global

innovation systems. E. **Energy**, 1 maio. 2021. v. 222, p. 119897.

ZAPATA, C.; NIEUWENHUIS, P. Exploring innovation in the automotive industry: new technologies for cleaner cars. **Journal of Cleaner Production**, 2010. v. 18, n. 1, p. 14–20. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652609002832>>.

ZHANG, H. *et al.* Comparative analysis of life cycle greenhouse gas emission of passenger cars: A case study in China. **Energy**, 2023. v. 265, p. 126282. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544222031681>>.

ZHANG, Lei; QIN, Q. China's new energy vehicle policies: Evolution, comparison and recommendation. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 26 fev. 2018a. v. 110, p. 57–72. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965856417309941>>.

\_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. China's new energy vehicle policies: Evolution, comparison and recommendation. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 5 maio. 2018b. v. 110, p. 57–72. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0965856417309941>>.

ZHANG, R.; TAO, Jili; ZHOU, Huiyu. Fuzzy Optimal Energy Management for Fuel Cell and Supercapacitor Systems Using Neural Network Based Driving Pattern Recognition. **IEEE Transactions on Fuzzy Systems**, 26 fev. 2019. v. 27, n. 1, p. 45–57. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8410796/>>.

ZHANG, T. *et al.* Hydrogen liquefaction and storage: Recent progress and perspectives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 2023. v. 176, p. 113204. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032123000606>>.

ZHANG, Yi *et al.* A hybrid similarity measure method for patent portfolio analysis. **Journal of Informetrics**, 2016.

ZHILI, D.; BOQIANG, L.; CHUNXU, G. Development path of electric vehicles in China under environmental and energy security constraints. **Resources, Conservation and Recycling**, 2019. v. 143, p. 17–26. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344918304634>>.

ZHU, Sipeng *et al.* A review of water injection applied on the internal combustion engine. **Energy Conversion and Management**.

ZHUANG, W. *et al.* A survey of powertrain configuration studies on hybrid electric vehicles. **Applied Energy**.

## ANEXO A- EXEMPLOS DE INCENTIVOS CONCEDIDOS PARA ESTÍMULO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS

| País           | Tipo de incentivo            | Descrição do incentivo  | Referência  |
|----------------|------------------------------|---|---|
| Alemanha       | Subsídio                     | Isenção de até € 4500 dependendo do preço do veículo; <i>HEVs plug-in</i> não recebem mais subsídios a partir de 2023; 50% do subsídio são concedidos pelo fabricante; Somente pessoas físicas serão beneficiadas a partir de 2023.                                       | (VOLKSWAGEN, 2023)  |
| Alemanha       | Financiamento, com subsídio. | Subsídio de até € 10000 por ponto de carregamento, dependendo do tipo de instalação.  | (BUNDESMINISTER IUM FÜR WIRTSCHAFT UND KLIMASCHUTZ, 2023) |
| Noruega        | Redução de impostos          | A partir de 2023, foi implementado isenção do IVA (Imposto sobre Valor Agregado) de 25% sobre o preço de compra de 500000 coroas norueguesas ou mais.   | (NORSK ELBILFORENING, 2023)                               |
| Noruega        | Imposto de compra            | Criação de um imposto, a partir de 2023, com base no peso dos veículos elétricos novos.   | (NORSK ELBILFORENING, 2023)                               |
| Noruega        | Taxa de pedágio              | Condutor paga somente 70% do valor do pedágio em rodovias, a partir de 2023.  | (NORSK ELBILFORENING, 2023)                               |
| Estados Unidos | Subsídio                     | Até US\$ 7500 de subsídio, dependendo da renda bruta familiar, a partir de 2023. Os veículos qualificados devem passar por montagem na América do Norte, com peso bruto de até 6350 kg e ter capacidade da bateria de pelo menos 7 kW/h, para pessoas físicas e empresas. | (INTERNAL REVENUE SERVICE, 2023)                          |
| Holanda        | Subsídio                     | Em 2023: Subsídio de € 2950 para compra ou locação de carros novos e € 2000 para compra ou locação de usados. Para carros 100% elétricos, carros novos ou usados ou ainda para aluguel de carros.   | (OVERHEID.NL, 2023)                                       |
| China          | Redução de impostos          | Os compradores de veículos elétricos estão isentos de pagar o imposto de compra no ano  | (MINISTRY OF FINANCE OF THE                               |

|            |                |  |   |
|------------|----------------|--|---|
|            |                | de 2023. Apenas para os modelos incluídos na lista de veículos elegíveis para o benefício.   | PEOPLE'S<br>REPUBLIC OF<br>CHINA, 2023) |
| Inglaterra | Subsídio       | Desconto de 35% no valor de compra do HEV <i>plug-in</i> até o máximo de £ 2500. Apenas os veículos que custam menos de £ 35000 e emitem menos de 50g/km de CO <sub>2</sub> qualificam-se. | (BONNET, 2023)                          |
| Escócia    | Financiamento  | Empréstimo de até £ 35000 para um veículo elétrico novo ou van e até £ 20000 para um veículo elétrico usado, e deve ser reembolsado em um período de seis anos, sem juros.                 | (BONNET, 2023)                          |
| França     | Crédito fiscal | Crédito fiscal de até € 300 por sistema de carregamento residencial, até em 2025.  | (RÉPUBLIQUE<br>FRANÇAISE, 2023)         |



## ANEXO B- CLASSIFICAÇÃO INTERNACIONAL DE PATENTES

Adaptado de (WIPO, 2021).

| <b>Códigos IPCs</b> | <b>Descrição dos códigos IPCs</b>   |
|---------------------|---|
| F02D                | Controles dos motores de combustão.   |
| F02D-41/38          | Controle elétrico do suprimento da mistura combustível ou seus constituintes do tipo alta pressão.  |
| F02M                | Alimentação de motores de combustão em geral com misturas combustíveis ou seus componentes.   |
| F02M-21/02          | Aparelhos para alimentar os motores com combustíveis não líquidos para combustíveis gasosos   |
| F02M-37/00          | Aparelhos ou sistemas para alimentação de combustível líquido dos tanques de armazenamento para os carburadores ou aparelhos de injeção de combustível; Disposições para purificar o combustível líquido, especialmente adaptadas ou dispostas nos motores de combustão interna.  |
| F02M-43/00          | Aparelhos de injeção de combustível usando simultaneamente dois ou mais combustíveis ou um combustível líquido e um outro líquido.  |
| F02D-41/00          | Controle elétrico do suprimento da mistura combustível ou seus constituintes.   |
| F02B-23/06          | Outros motores caracterizados pela forma ou estrutura especial das câmaras de combustão para melhorar o funcionamento sendo o espaço de combustão disposto no pistão motor.   |
| F02B-23/10          | Outros motores caracterizados pela forma ou estrutura especial das câmaras de combustão para melhorar o funcionamento com admissão separada do ar e do combustível no cilindro.   |
| F02M-45/00          | Dispositivos para injeção de combustível caracterizados por ter variação cíclica de pressão ou vazão.   |
| F02M-47/00          | Dispositivos para injeção de combustível, de funcionamento cíclico, com válvulas de injeção acionadas pela pressão de um fluido.  |
| F02M-51/06          | Aparelhos de injeção de combustível caracterizados por um acionamento elétrico, injetores próprios para esse fim.   |
| F02M-55/00          | Aparelhos de injeção de combustível caracterizados pelos seus condutos de combustível ou meios de ventilação.   |
| F02M-57/00          | Injetores de combustível combinados com ou associados a outros dispositivos.  |
| F02M-59/00          | Bombas especialmente adaptadas à injeção de combustível e não incluídas nos grupos F02M 39/00-F02M 57/00.   |
| F02M-63/02          | Aparelhos de injeção de combustível compreendendo vários injetores alimentados por um mesmo elemento de bombeamento ou compreendendo vários elementos de bombeamento alimentando um injetor comum; Aparelhos de injeção de combustível compreendendo o desligamento das bombas, dos elementos de bombeamento ou dos injetores; Aparelhos de injeção de combustível com possibilidades para ligar de maneira variável e alternadamente os elementos de bombeamento e |

|             |  |
|-------------|--|
|             | os injetores.  |
| F02M-069/04 | Dispositivos de injeção de combustível à baixa pressão.  |
| F02D-021/08 | Controle de motores caracterizados por sua alimentação com oxigênio não extraído do ar ou com outro gás não combustível sendo, o outro gás, gás de escape do motor.  |
| F02B        | Motores de combustão interna de pistões; motores de combustão em geral.  |
| F02B-27/00  | Utilização de energia cinética ou de ondas da carga nos sistemas de indução ou uso dos resíduos de combustão nos sistemas de escape para melhorar o volume da carga ou para aumentar a remoção dos resíduos de combustão   |
| F02B-029/00 | Motores caracterizados por disposição de carregamento ou limpeza.  |
| F02B-033/00 | Motores caracterizados pela disposição de bombas para carregamento ou limpeza dos motores.   |
| F02B-37/00  | Motores caracterizados pela disposição de bombas acionadas, pelo menos parte do tempo, por exaustão (caracterizado pela introdução de combustível líquido nos cilindros por meio de um fluido auxiliar F02B 13/00; caracterizado pelo prolongamento da carga F02B 29/06; caracterizado por passagens que conduzem a carga da bomba à entrada do motor F02B 33/44). |
| F02B-39/00  | Peças, detalhes ou acessórios relativos a carregamento acionado ou bombas para limpeza de motores.   |
| F02D-23/00  | Controle de motores caracterizados pelo fato de serem supercarregados.   |
| F02D-13/02  | Controle da potência do motor pela variação das características de funcionamento das válvulas de entrada ou de escape.   |
| F02D-015/00 | Variação da taxa de compressão.  |
| F01L-01/34  | Mecanismos ou sistemas de válvulas, caracterizados pela presença de meios para mudar a sincronização das válvulas sem mudar a duração da abertura.   |
| F01L-09/02  | Mecanismos ou sistemas de válvulas acionados de forma não mecânica por meio de um fluido.  |
| F01L-09/04  | Mecanismos ou sistemas de válvulas acionados de forma não mecânica por meios elétricos.  |
| F01L-13/02  | Modificações de mecanismos de válvulas para facilitar a inversão de marchas, a frenagem, a partida, a mudança da taxa de compressão ou outras operações específicas para inversão de marcha.   |
| F01L-13/00  | Modificações de mecanismos de válvulas para facilitar a inversão de marchas, a frenagem, a partida, a mudança da taxa de compressão ou outras operações específicas.   |
| F02M 26/00  | Aparelhos próprios do motor para adicionar gases de escape ao ar de combustão, combustível principal ou mistura ar-combustível, por ex. pelo sistema de recirculação dos gases de escape.  |

|            |  |
|------------|--|
| F02F       | Cilindros, pistões ou carcaças para motores a combustão; disposições de vedações em motores de combustão.  |
| B60K-06/20 | Disposição ou montagem de uma diversidade de máquinas motrizes de propulsão recíproca ou comum, p. ex. sistema de propulsão híbrido constituído de motores elétricos e motores de combustão internas máquinas motrizes compreendendo motores elétricos e motores de combustão interna. |
| B60K-06/24 | Disposição ou montagem de uma diversidade de máquinas motrizes de propulsão recíproca ou comum, p. ex. sistema de propulsão híbrido constituído de motores elétricos e motores de combustão interna caracterizado por motores de combustão.  |

**APÊNDICE A- EMPRESAS DETENTORAS DAS FAMÍLIAS DE PATENTES  
PUBLICADAS NO USPTO POR TECNOLOGIA DE POWERTRAIN**

| <b>ICEV- USPTO</b>              |                       | <b>HEV-USPTO</b>                |                       |
|---------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|
| <b>Empresa</b>                  | <b>Nº de Patentes</b> | <b>Empresa</b>                  | <b>Nº de Patentes</b> |
| Robert Bosch                    | 949                   | Toyota Motor                    | 820                   |
| Toyota Motor                    | 890                   | Hyundai Motor                   | 593                   |
| Honda Motor                     | 552                   | Ford Global Technologies        | 587                   |
| Ford Global Technollgies        | 454                   | Kia Motors                      | 297                   |
| Nissan Motor                    | 430                   | Gm Global Technology Operations | 229                   |
| Gm Global Technology Operations | 276                   | Honda Motor                     | 223                   |
| Denso                           | 266                   | Zf Friedrichshafen              | 196                   |
| Hitachi                         | 157                   | Nissan Motor                    | 183                   |
| Vitesco Technologies            | 149                   | Robert Bosch                    | 115                   |
| Bmw - Bayerische Motoren Werke  | 147                   | Schaeffler Technologies         | 89                    |
| Daimler                         | 138                   | Aisin Aw                        | 87                    |
| Mitsubishi Electric             | 124                   | Renault                         | 64                    |
| Volkswagen                      | 120                   | Porsche                         | 64                    |
| Hyundai Motor                   | 116                   | Bmw - Bayerische Motoren Werke  | 61                    |
| Daimler Benz                    | 115                   | Denso                           | 60                    |
| Porsche                         | 114                   | Audi                            | 55                    |
| Daimlerchrysler108"             | 108                   | Mitsubishi Motors               | 55                    |
| Renault                         | 108                   | Fca Us                          | 48                    |
| Ford Motor                      | 104                   | Volkswagen                      | 44                    |
| Mann & Hummel                   | 103                   | Suzuki Motor                    | 41                    |
| Audi                            | 102                   | Ford Motor                      | 38                    |
| Continental Automotive          | 100                   | Jaguar Land Rover               | 36                    |
| Man Truck & Bus                 | 97                    | Scania Cv                       | 35                    |
| Volvo Trucks                    | 96                    | Daimler                         | 32                    |
| Yamaha Motor                    | 96                    | Hitachi                         | 30                    |
| Mahle International             | 76                    | Kia                             | 26                    |
| Mitsubishi Motors               | 75                    | Volvo Trucks                    | 26                    |
| Kia Motors                      | 69                    | Mazda Motor                     | 25                    |
| General Motors                  | 68                    | Hino Motors                     | 23                    |
| Fuji Heavy Industries           | 58                    | Subaru                          | 23                    |
| <b>BEV-USPTO</b>                |                       | <b>FCEV-USPTO</b>               |                       |
| <b>Empresa</b>                  | <b>Nº de Patentes</b> | <b>Empresa</b>                  | <b>Nº de Patentes</b> |
| Toyota Motor                    | 812                   | Toyota Motor                    | 346                   |
| Honda Motor                     | 482                   | Honda Motor                     | 224                   |
| Ford Global Technologies        | 480                   | Hyundai Motor                   | 133                   |
| Hyundai Motor                   | 422                   | Nissan Motor                    | 73                    |

|  |     |                                 |    |
|--|-----|---------------------------------|----|
| Kia Motors                                 | 236 | Gm Global Technology Operations | 67 |
| Nissan Motor                               | 176 | Kia Motors                      | 59 |
| Gm Global Technology Operations            | 170 | Suzuki Motor                    | 27 |
| Denso                                      | 153 | Audi                            | 26 |
| Murata Manufacturing                       | 99  | Nucellsys                       | 24 |
| Renault                                    | 96  | Daimler                         | 18 |
| Subaru                                     | 96  | Yamaha Motor                    | 17 |
| Mitsubishi Motors                          | 91  | Bmw - Bayerische Motoren Werke  | 13 |
| Sanyo Electric                             | 85  | Ford Global Technologies        | 13 |
| Robert Bosch                               | 79  | Robert Bosch                    | 13 |
| Byd  | 64  | Siemens                         | 12 |
| Hitachi                                    | 64  | Toyota Industries               | 12 |
| Porsche                                    | 58  | Renault                         | 11 |
| Yamaha Motor                               | 58  | Denso                           | 10 |
| Audi                                       | 51  | Emitec                          | 8  |
| Mitsubishi Electric                        | 51  | Ford Motor                      | 8  |
| Suzuki Motor                               | 50  | Avl List                        | 7  |
| Samsung Sdi                                | 47  | Daimlerchrysler                 | 7  |
| Aisin Aw                                   | 44  | Nuvoton                         | 7  |
| Yazaki                                     | 43  | Seiko Epson                     | 7  |
| Toyota Industries                          | 37  | Xcellsis                        | 7  |
| BMW - Bayerische Motoren Werke             | 36  | Airbus Operations               | 6  |
| Mazda Motor                                | 36  | Ballard Power Systems           | 6  |
| Panasonic Intellectual Property Management | 35  | Polyfuel                        | 6  |
| Kawasaki Motors                            | 34  | Toshiba                         | 6  |
| Kia  | 34  | Cellcentric                     | 5  |

**APÊNDICE B- EMPRESAS DETENTORAS DAS FAMÍLIAS DE PATENTES  
PUBLICADAS NO EPO POR TECNOLOGIA DE *POWERTRAIN***

| ICEV- EPO                            |                | HEV-EPO                        |                |
|--------------------------------------|----------------|--------------------------------|----------------|
| Empresa                              | Nº de Patentes | Empresa                        | Nº de Patentes |
| Robert Bosch                         | 627            | Toyota Motor                   | 309            |
| Toyota Motor                         | 397            | Nissan Motor                   | 154            |
| Renault                              | 299            | Renault                        | 128            |
| Volkswagen                           | 220            | Zf Friedrichshafen             | 111            |
| Honda Motor                          | 176            | Robert Bosch                   | 110            |
| BMW - Bayerische Motoren Werke       | 159            | Honda Motor                    | 101            |
| Nissan Motor                         | 155            | Peugeot Citroen Automobiles    | 71             |
| Man Truck & Bus                      | 148            | Schaeffler Technologies        | 62             |
| Peugeot Citroen Automobiles          | 147            | Audi                           | 47             |
| Mahle International                  | 105            | Volkswagen                     | 44             |
| Ford Global Technologies             | 104            | Bmw - Bayerische Motoren Werke | 42             |
| Mann & Hummel                        | 99             | Mitsubishi Motors              | 40             |
| Volvo Trucks                         | 98             | Scania Cv                      | 39             |
| Yamaha Motor                         | 95             | Psa Automobiles                | 33             |
| Continental Automotive               | 76             | Jaguar Land Rover              | 32             |
| Daimlerchrysler                      | 76             | Ford Global Technologies       | 31             |
| Audi                                 | 73             | Volvo Trucks                   | 29             |
| Daimler                              | 70             | Byd                            | 26             |
| Hitachi                              | 67             | Aisin Aw                       | 25             |
| Siemens                              | 59             | Hitachi                        | 23             |
| Denso                                | 56             | Hyundai Motor                  | 22             |
| Scania Cv                            | 55             | Fca Us                         | 20             |
| Psa Automobiles                      | 54             | Hino Motor                     | 20             |
| Valeo Equipements Electriques Moteur | 51             | Mazda Motor                    | 19             |
| Vitesco Technologies                 | 50             | Daimler                        | 18             |
| Porsche                              | 43             | Volvo Car                      | 16             |
| Mitsubishi Motors                    | 39             | Ferrari                        | 15             |
| Pierburg                             | 38             | Yamaha Motor                   | 15             |
| Zf Friedrichshafen                   | 37             | Bae Systems Controls           | 14             |
| Isuzu Motors                         | 29             | Deere                          | 14             |
| BEV-EPO                              |                | FCEV-EPO                       |                |
| Empresa                              | Nº de Patentes | Empresa                        | Nº de Patentes |
| Toyota Motor                         | 348            | Toyota Motor                   | 57             |
| Honda Motor                          | 172            | Nissan Motor                   | 56             |
| Renault                              | 144            | Honda Motor                    | 37             |

|  |     |   |    |
|--|-----|---|----|
| Nissan Motor                               | 134 | Nucellsys   | 20 |
| Mitsubishi Motors                          | 78  | Audi  | 15 |
| Byd  | 72  | Siemens   | 14 |
| Yamaha Motor                               | 70  | Daimler   | 12 |
| Robert Bosch                               | 69  | Renault,  | 12 |
| Hitachi                                    | 41  | Yamaha Motor  | 12 |
| Murata Manufacturing                       | 39  | Enerday   | 9  |
| Sanyo Electric                             | 39  | Bmw - Bayerische Motoren Werke                                      | 8  |
| Hyundai Motor                              | 36  | Emitec  | 8  |
| Samsung Sdi                                | 36  | Gm Global Technology Operations                                     | 7  |
| Peugeot Citroen Automobiles                | 33  | Robert Bosch,   | 7  |
| Audi                                       | 31  | Xcellsis  | 7  |
| Lg Energy Solution                         | 30  | Suzuki Motor  | 6  |
| Lsis                                       | 28  | Airbus Operations   | 5  |
| Panasonic Intellectual Property Management | 27  | Ballard Power Systems   | 5  |
| Psa Automobiles                            | 27  | Daimlerchrysler   | 5  |
| Toshiba                                    | 27  | Michelin  | 5  |
| Volkswagen                                 | 27  | Basf  | 4  |
| Jaguar Land Rover                          | 25  | Cea - Commissariat A L Energie Atomique & Aux Energies Alternatives | 4  |
| Volvo Trucks                               | 25  | Eberspaecher  | 4  |
| Toyota Industries                          | 24  | Hyundai Motor   | 4  |
| Nio  | 23  | Michelin Recherche & Technique                                      | 4  |
| Kawasaki Motors                            | 22  | Paul Scherrer Institute   | 4  |
| Mazda Motor                                | 21  | Polyfuel  | 4  |
| Siemens                                    | 21  | Alstom Transport  | 3  |
| Bmw - Bayerische Motoren Werke             | 19  | Avl List  | 3  |
| Volvo Car                                  | 19  | Cellcentric   | 3  |

## APÊNDICE C- FATORES CRÍTICOS DE SUCESSO PARA OS VEÍCULOS ELÉTRICOS

| FCS  | Artigos  | Número de artigos | Frequência do FCS (%) | Frequência do PVF (%) |
|--|--|-------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Fatores tecnológicos</b>                        |  |                   |                       |                       |
| <b>Autonomia do veículo</b>                        | (AGERSKOV; HØJ, 2013; AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016, 2020; ASAAD <i>et al.</i> , 2018; DUANGSRIKAEW <i>et al.</i> , 2019; DUBIN <i>et al.</i> , [s.d.]; FIGENBAUM <i>et al.</i> , 2015b; FOLEY; DEGIRMENCI; YIGITCANLAR, 2020; GEENHUIZEN, VAN; NIJKAMP, 2003; HASAN; SIMSEKOGLU, 2020; HAUSTEIN; JENSEN, 2018b; JENSEN <i>et al.</i> , 2021; KÜHL <i>et al.</i> , 2019; LEMPHERS <i>et al.</i> , 2022; LEURENT; WINDISCH, 2011; LU, C. <i>et al.</i> , 2017; MAK; RONG, Y.; SHEN, 2013; MUSTAFA; SHAWWA, 2019; NAOR <i>et al.</i> , 2015; RAUH; FRANKE; KREMS, 2015; SCHUH <i>et al.</i> , 2018; SCHWARTZ, H. J., 1983; THORGEIRSSON <i>et al.</i> , 2020; VIOLA, 2021; YOO; KIM, Myoungsoo; SONG, H. H., 2018) | 24                | 7.03%                 | 17%                   |
| <b>Tempo de abastecimento / carregamento</b>       | (CHEN, S.-H. <i>et al.</i> , 2015; CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K., 2015; DUANGSRIKAEW <i>et al.</i> , 2019; ELIAS; HUNT, 1993; HRUDKAY; JAROŠ, 2019; JUNG <i>et al.</i> , 2021; KHAN, S.; BRANDHERM; SWAMY, 2020; KÜHL <i>et al.</i> , 2019; LIU, J.; WEI, Q., 2018; MATTHEWS <i>et al.</i> , 2017; MIAO <i>et al.</i> , 2014; MUSTAFA; SHAWWA, 2019; SCHUH <i>et al.</i> , 2018)   | 13                | 3.81%                 |                       |
| <b>Segurança</b>                                   | (AGERSKOV; HØJ, 2013; ELIAS; HUNT, 1993; INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; MATTHEWS <i>et al.</i> , 2017; MIAO <i>et al.</i> , 2014; NAOR <i>et al.</i> , 2015; REN, J., 2018; SCHIFFBAENKER; SHANKAVARAM, 2017)   | 9                 | 2.26%                 |                       |
| <b>Armazenamento do hidrogênio e transporte</b>    | (EHRET; BONHOFF, 2015; KUMAR, P.; BRITTER; GUPTA, 2009; MURTHY KONDA; SHAH, N.; BRANDON, 2012; XU, Chuanbo; WU, Yunna; DAI, 2020)  | 4                 | 1.17%                 |                       |
| <b>Vida útil da bateria/ célula de combustível</b> | (FOLEY; DEGIRMENCI; YIGITCANLAR, 2020; HRUDKAY; JAROŠ, 2019; RAYMOND A. SUTULA <i>et al.</i> , 2002; SCHIFFBAENKER; SHANKAVARAM, 2017; SCHOT; HOOGMA; ELZEN, 1994; STEINHILBER; WELLS; THANKAPPAN, 2013)   | 6                 | 1.76%                 |                       |
| <b>Otimização da capacidade/ta</b>                 | (KÜHL <i>et al.</i> , 2019; PANDEY; MANOCHA; SAINI, 2020)  | 2                 | 0.6%                  |                       |



|   |   |    |       |        |
|---|---|----|-------|--------|
| <b>manho da bateria ou motor</b>                    |   |    |       |        |
| <b>Fatores econômicos</b>                           |   |    |       |        |
| <b>Preço do veículo</b>                             | (AGERSKOV; HØJ, 2013; AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016, 2020; ASAAD <i>et al.</i> , 2018; BEISE; RENNINGS, 2004; CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K., 2015; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; CHIPLONKAR, 2006; DUBIN <i>et al.</i> , [s.d.]; ELIAS; HUNT, 1993; FIGENBAUM <i>et al.</i> , 2015b; FOLEY; DEGIRMENCI; YIGITCANLAR, 2020; HARDMAN, S.; TAL, 2016; HIGUERAS-CASTILLO <i>et al.</i> , 2019; INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019; JENSEN <i>et al.</i> , 2021; KIM, M.-K. <i>et al.</i> , 2018; KUMAR, R.; LAMBA; RAMAN, 2021; LEURENT; WINDISCH, 2011; LIU, C.; LIN, Z., 2017; LONAN; ARDI, 2020; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; MIAO <i>et al.</i> , 2014; MUSTAFA; SHAWWA, 2019; NAOR <i>et al.</i> , 2015; PANDEY; MANOCHA; SAINI, 2020; PFAHL; JOCHEM; FICHTNER, 2013; RAMES <i>et al.</i> , 2020; REN, J., 2018; SCHICKRAM; GLEYZES; LIENKAMP, 2013; SCHWARTZ, H. J., 1983; SHEPHERD; BONSALL; HARRISON, 2012; WU, Z.; MA, Q.; LI, C., 2015) | 33 | 9.68% | 14.07% |
| <b>Taxa de depreciação</b>                          | (HASAN; SIMSEKOGLU, 2020)   | 1  | 0.29% |        |
| <b>Preço da energia</b>                             | (AGERSKOV; HØJ, 2013; AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2020; CHU <i>et al.</i> , 2020; HARDMAN, S.; TAL, 2016; KIM, M.-K. <i>et al.</i> , 2018; LIU, C.; LIN, Z., 2017; REN, J., 2018; SCHUH <i>et al.</i> , 2018)  | 8  | 2.35% |        |
| <b>Custos de manutenção</b>                         | (CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K., 2015; HASAN; SIMSEKOGLU, 2020; KIM, M.-K. <i>et al.</i> , 2018; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; MIAO <i>et al.</i> , 2014; UL-HAQ <i>et al.</i> , 2020)   | 6  | 1.76% |        |
| <b>Fatores ambientais</b>                           |   |    |       |        |
| <b>Emissões do ciclo de vida</b>                    | (CARRANZA; PATURET; SALERA, 2013; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; JENSEN <i>et al.</i> , 2021; KUMAR, P.; BRITTER; GUPTA, 2009; KÜNLE; MINKE, 2022; MENDOZA <i>et al.</i> , 2016; SCHICKRAM; GLEYZES; LIENKAMP, 2013; SHEPHERD; BONSALL; HARRISON, 2012)   | 8  | 2.35% | 3.22%  |
| <b>Reciclagem da bateria/ célula de combustível</b> | (REN, J., 2018; SCHUH <i>et al.</i> , 2018; ZHANG, Lei; QIN, 2018b)   | 3  | 0.9%  |        |

| <b>Fatores Político- Sociais</b>                                   |   |    |       |       |
|--|---|----|-------|-------|
| <b>Disponibilidade de estações de abastecimento / carregamento</b> | (AGERSKOV; HØJ, 2013; ÅHMAN, 2006; AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016, 2020; ASAAD <i>et al.</i> , 2018; BAI; ZHANG, Long, 2020; CARRANZA; PATURET; SALERA, 2013; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; DAS <i>et al.</i> , 2020; DIGALWAR; RASTOGI, 2022; DUANGSRIKAEW <i>et al.</i> , 2019; DUBIN <i>et al.</i> , [s.d.]; EHRET; BONHOFF, 2015; FIGENBAUM <i>et al.</i> , 2015b; HASAN; MATHISEN, 2020; HASAN; SIMSEKOGLU, 2020; HAUSTEIN; JENSEN, 2018a; HELD; GERRITS, 2019; HIDALGO; OSTENDORP; LIENKAMP, 2016; HRUDKAY; JAROŠ, 2019; JANSSON; REZVANI, 2019; JENSEN <i>et al.</i> , 2021; JUNG <i>et al.</i> , 2021; KABLI <i>et al.</i> , 2020; KEAWTHONG; MUANGSIN, 2021; KHAN, S.; BRANDHERM; SWAMY, 2020; KIM, M.-K. <i>et al.</i> , 2018; KIM, S. <i>et al.</i> , 2017; KIM, S.; YANG, D.; RASOULI, 2016; KIMBLE; HUA, 2013; KÜHL <i>et al.</i> , 2019; KUMAR, P.; BRITTER; GUPTA, 2009; KÜNLE; MINKE, 2022; LEMPHERS <i>et al.</i> , 2022; LEURENT; WINDISCH, 2011; LI, Suxiu; LIU, Y.; WANG, Jingyu, 2015; LIU, C.; LIN, Z., 2015, 2017; LIU, J.; WEI, Q., 2018; LONAN; ARDI, 2020; ŁUSZCZYK <i>et al.</i> , 2021; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; MATTHEWS <i>et al.</i> , 2017; MENDOZA <i>et al.</i> , 2016; MIAO <i>et al.</i> , 2014; MURTHY KONDA; SHAH, N.; BRANDON, 2012; NAOR <i>et al.</i> , 2015; PANDEY; MANOCHA; SAINI, 2020; PINTO <i>et al.</i> , 2020; RAMEA, 2019; RAMES <i>et al.</i> , 2021; REN, J., 2018; RIETMANN; LIEVEN, 2019a; ROCKOFF <i>et al.</i> , 2019; SCHICKRAM; GLEYZES; LIENKAMP, 2013; SCHOT; HOOGMA; ELZEN, 1994; SCHUH <i>et al.</i> , 2018; SHAKEEL, 2022; SHOM; ALAHMAD, 2017; STEINHILBER; WELLS; THANKAPPAN, 2013; THORGEIRSSON <i>et al.</i> , 2020; TSUDA <i>et al.</i> , 2014; UL-HAQ <i>et al.</i> , 2020; VERMAAK; KUSAKANA, 2014; WANG, J. Y.; LIU, Y. Q.; KOKKO, 2014; XU, Chuanbo; WU, Yunna; DAI, 2020; ZHANG, Lei; QIN, 2018b; ZHANG, R.; TAO, Jili; ZHOU, Huiyu, 2019) | 68 | 19.9% | 59.5% |
| <b>Redes elétricas e de geração de energia</b>                     | (AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016; AUJLA; JINDAL; KUMAR, Neeraj, 2018; BAYRAM; PAPAPANAGIOTOU, 2014; BINDING <i>et al.</i> , 2010; CHEN, S.-H. <i>et al.</i> , 2015; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; COLMENAR-SANTOS <i>et al.</i> , 2017;  | 15 | 4.40% |       |

|  |   |    |        |  |
|--|---|----|--------|--|
|  | GANDHI; WHITE, 2021; GONZÁLEZ <i>et al.</i> , 2013; KABLI <i>et al.</i> , 2020; LEURENT; WINDISCH, 2011; ROCKOFF <i>et al.</i> , 2019; SCHUH <i>et al.</i> , 2018; STEINHILBER; WELLS; THANKAPPAN, 2013; UL-HAQ <i>et al.</i> , 2020)   |    |        |  |
| <b>Incentivos financeiros</b>            | (AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016, 2020; ASAAD <i>et al.</i> , 2018; BEISE; RENNINGS, 2004; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; CHU <i>et al.</i> , 2020; DUBIN <i>et al.</i> , [s.d.]; FIGENBAUM <i>et al.</i> , 2015b; FOLEY; DEGIRMENCI; YIGITCANLAR, 2020; GEENHUIZEN, VAN; NIJKAMP, 2003; HARDMAN, S.; TAL, 2016; HARRISON; GÓMEZ VILCHEZ; THIEL, 2018; HASAN; SIMSEKOGLU, 2020; HELD; GERRITS, 2019; JANSSON; REZVANI, 2019; JENSEN <i>et al.</i> , 2021; JUNG <i>et al.</i> , 2021; KIM, M.-K. <i>et al.</i> , 2018; KONDA, 2022; KÜHL <i>et al.</i> , 2019; KÜNLE; MINKE, 2022; LEMPHERS <i>et al.</i> , 2022; LEURENT; WINDISCH, 2011; LI, Suxiu; LIU, Y.; WANG, Jingyu, 2015; LONAN; ARDI, 2020; LONG, Z.; KITT; AXSEN, 2021; LU, C. <i>et al.</i> , 2017; ŁUSZCZYK <i>et al.</i> , 2021; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; MATTHEWS <i>et al.</i> , 2017; MIAO <i>et al.</i> , 2014; MUSTAFA; SHAWWA, 2019; PETERS; DÜTSCHKE, 2014; PFAHL; JOCHEM; FICHTNER, 2013; REN, J., 2018; RIETMANN; LIEVEN, 2019a; SCHOT; HOOGMA; ELZEN, 1994; SHAKEEL, 2022; SHEPHERD; BONSALL; HARRISON, 2012; ZHANG, Lei; QIN, 2018b) | 40 | 11.73% |  |
| <b>Incentivos não financeiros</b>        | (AJANOVIC, Amela; HAAS, Reinhard, 2016; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; HARRISON; GÓMEZ VILCHEZ; THIEL, 2018; HELD; GERRITS, 2019; INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019; KIM, M.-K. <i>et al.</i> , 2018; KÜNLE; MINKE, 2022; LEURENT; WINDISCH, 2011; LONAN; ARDI, 2020; LONG, Z.; KITT; AXSEN, 2021; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; RIETMANN; LIEVEN, 2019a; SCHOT; HOOGMA; ELZEN, 1994; SHAKEEL, 2022)   | 14 | 4.1%   |  |
| <b>Regulações e padrões tecnológicos</b> | (ÅHMAN, 2006; BEISE; RENNINGS, 2004; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; KÜNLE; MINKE, 2022; LEMPHERS <i>et al.</i> , 2022; LI, Suxiu; LIU, Y.; WANG, Jingyu, 2015; LIU, C.; LIN, Z., 2017; LONG, Z.; KITT; AXSEN, 2021; ŁUSZCZYK <i>et al.</i> , 2021; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; PANDEY; MANOCHA; SAINI, 2020; "Policy Simulation of  | 15 | 4.39%  |  |

|  |  |    |       |       |
|--|--|----|-------|-------|
|  | Electricity-Based Vehicle Utilization in Indonesia (Electrified Vehicle - HEV, PHEV, BEV and FCEV)   Automotive Experiences”, 2022; REN, J., 2018; RIETMANN; LIEVEN, 2019a; SCHUH <i>et al.</i> , 2018; STEINHILBER; WELLS; THANKAPPAN, 2013)  |    |       |       |
| <b>Modelo de negócio</b>                               | (KIMBLE; HUA, 2013; LIAO, F.; MOLIN; WEE, VAN, 2017; STEINHILBER; WELLS; THANKAPPAN, 2013)   | 3  | 0.88  |       |
| <b>Cultura de pesquisa e desenvolvimento (P&amp;D)</b> | (ÅHMAN, 2006; BEISE; RENNINGS, 2004; CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; CHU <i>et al.</i> , 2020; GEENHUIZEN, VAN; NIJKAMP, 2003; HARRISON; GÓMEZ VILCHEZ; THIEL, 2018; HASLAM; JUPESTA; PARAYIL, 2012; LEURENT; WINDISCH, 2011; LI, Suxiu; LIU, Y.; WANG, Jingyu, 2015; LU, C. <i>et al.</i> , 2017; MAINI, 2005; REN, J., 2018; SINHUBER; ROHLFS; SAUER, 2012; STEINHILBER; WELLS; THANKAPPAN, 2013; UL-HAQ <i>et al.</i> , 2020; WANG, J. Y.; LIU, Y. Q.; KOKKO, 2014; YUAN, X.; LI, Xiaotao, 2021; ZHANG, Lei; QIN, 2018a) | 18 | 5.28% |       |
| <b>Aceitação social</b>                                | (EMODI <i>et al.</i> , 2021; IMANINA; LU, T. K.; FADHILAH, 2016; KÜHL <i>et al.</i> , 2019; LEMOINE; KAMMEN; FARRELL, 2008; PETERS; DÜTSCHKE, 2014; REN, J., 2018; SCHUH <i>et al.</i> , 2018)   | 7  | 2.05% |       |
| <b>Fatores psicológicos</b>                            | (EMODI <i>et al.</i> , 2021; HASAN; SIMSEKOGLU, 2020; HAUSTEIN; JENSEN, 2018a; HIGUERAS-CASTILLO <i>et al.</i> , 2019; LONG, Z.; KITT; AXSEN, 2021; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; NAOR <i>et al.</i> , 2015; SHAKEEL, 2022; VIOLA, 2021)   | 11 | 3.22% |       |
| <b>Variáveis demográficas</b>                          | (CHENG, Y.-W.; CHEN, J.; LIN, K., 2015; EMODI <i>et al.</i> , 2021; HASAN; SIMSEKOGLU, 2020; HAUSTEIN; JENSEN, 2018a; JANSSON; REZVANI, 2019; LEE, J. H.; HARDMAN, S. J.; TAL, 2019; LEMPHERS <i>et al.</i> , 2022; LONG, Z.; KITT; AXSEN, 2021; MAGHFIROH; PANDYASWARGO; ONODA, 2021; RAMES <i>et al.</i> , 2021; SCHICKRAM; GLEYZES; LIENKAMP, 2013; SCHUH <i>et al.</i> , 2018)   | 12 | 3.52% |       |
| <b>Fatores de Marketing</b>                            |  |    |       |       |
| <b>Disponibilidade e do veículo no ponto de venda</b>  | (MATTHEWS <i>et al.</i> , 2017)  | 1  | 0.29% | 6.16% |
| <b>Reputação e credibilidade da marca</b>              | (BURGESS <i>et al.</i> , 2013; DUBIN <i>et al.</i> , [s.d.]; KÜHL <i>et al.</i> , 2019; ŁUSZCZYK <i>et al.</i> , 2021; MIAO <i>et al.</i> , 2014)  | 7  | 1.76% |       |

|  |   |   |       |      |
|--|---|---|-------|------|
| <b>Diversidade de modelos de veículos</b>              | (CHHIKARA <i>et al.</i> , 2021; INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019; LEMPHERS <i>et al.</i> , 2022; ŁUSZCZYK <i>et al.</i> , 2021; SCHUH <i>et al.</i> , 2018) | 5 | 1.17% |      |
| <b>Suporte para a venda</b>                            | (MATTHEWS <i>et al.</i> , 2017)   | 1 | 0.29% |      |
| <b>Imagem pública dos veículos elétricos</b>           | (BURGESS <i>et al.</i> , 2013; HARDMAN, S.; TAL, 2016; HASAN; SIMSEKOGLU, 2020; HAUSTEIN; JENSEN, 2018a; SCHUH <i>et al.</i> , 2018)                  | 5 | 1.46% |      |
| <b>Serviço pós venda/ conveniência para manutenção</b> | (KRISHNAN; KOSHY, 2021; MIAO <i>et al.</i> , 2014; REN, J., 2018)   | 3 | 0.88% |      |
| <b>Revendedor de carros nas proximidades</b>           | (INGEBORGRUD; RYGHAUG, 2019)  | 1 | 0.29  |      |
|  | Total   |   | 100%  | 100% |