

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ENZO DA SILVA ROSA

**ANÁLISE PRELIMINAR DA INTEGRAÇÃO DO HIDROGÊNIO PARA
MOBILIDADE ELÉTRICA: um estudo de exploração de eletropostos
*off-grid***

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

ENZO DA SILVA ROSA

**ANÁLISE PRELIMINAR DA INTEGRAÇÃO DO HIDROGÊNIO PARA
MOBILIDADE ELÉTRICA: um estudo de exploração de eletropostos
*off-grid***

Trabalho de Conclusão de Curso submetido
ao Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina, como parte
dos requisitos necessários para a obtenção
do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador:
Prof. Everthon Taghori Sica, D. Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025

Rosa, Enzo da Silva
ANÁLISE PRELIMINAR DA INTEGRAÇÃO DO HIDROGÊNIO PARA
MOBILIDADE ELÉTRICA : Um estudo de exploração de
eletropostos off-grid / Enzo da Silva Rosa ; orientador,
Everthon Taghori Sica, 2025.

92 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Instituto
Federal de Santa Catarina, Campus Florianópolis, Graduação
em Engenharia elétrica, Florianópolis, 2025.

Inclui referências.

1. Engenharia elétrica. 2. Engenharia. 3. Engenharia
Elétrica. 4. Hidrogênio Verde. 5. Eletroposto. I. Sica,
Everthon Taghori. II. Instituto Federal de Santa Catarina.
Graduação em Engenharia elétrica. III. Título.

ANÁLISE PRELIMINAR DA INTEGRAÇÃO DO HIDROGÊNIO PARA MOBILIDADE ELÉTRICA: UM ESTUDO DE EXPLORAÇÃO DE ELETROPOSTOS *OFF-GRID*

ENZO DA SILVA ROSA

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 28 de julho, 2025.

Banca Examinadora:

Prof. Everthon Taghori Sica, D. Eng.

Prof. Adriano de Andrade Bresolin, D. Eng.

Prof. Sérgio Luciano Ávila, D. Eng.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que me concebeu força e sabedoria quando pensei que eu mesmo não tinha.

Aos meus pais Fabio e Eunice, que não mediram esforços para que eu pudesse ir mais longe, como a flecha que sai da mão do valente.

A minha namorada e futura esposa Daiany, que aturou e passou por todo esse processo comigo, essa conquista pertence a nós dois e nosso vínculo é eterno.

Aos meus irmãos Lucas e Bruno, que me incentivaram durante esse período e me ajudaram todos os dias a ser uma pessoa melhor, estamos juntos para sempre.

Ao meu orientador e professor Everthon, que desde o começo acreditou no meu potencial e me ajudou sempre que precisei.

“Se te fatigas correndo com homens
que vão a pé, como poderás competir
com os que vão a cavalo?”

Jeremias 12:5

RESUMO

A transição energética é tratada mundialmente por diversos países nos últimos anos, inclusive no Brasil. Com o objetivo de diminuir a poluição de gases nocivos ao planeta, o setor de transportes brasileiro, que em sua maioria ainda utiliza meios de transporte a combustão, é um dos principais segmentos que intensificam a emissão de gases poluentes. Diante disso, torna-se necessário buscar soluções que possam incentivar a introdução de meios de transportes mais sustentáveis à sociedade. Os veículos elétricos e híbridos são um exemplo, necessitando de uma forte rede de infraestrutura de abastecimento para sua melhor implementação. Este trabalho tem como base os eletropostos *off-grid*, abordando a possibilidade de abastecer de forma híbrida tanto veículos movidos a eletricidade quanto os a célula combustível. Por fim, será realizado um estudo de caso particular para viabilidade técnica de um eletroposto *off-grid* híbrido a hidrogênio na cidade de Florianópolis, analisando os recursos e equipamentos necessários para a construção e funcionamento do mesmo, juntamente com a escolha de local e estudo de infraestrutura já existente na região.

Palavras-chave: Transição energética. Eletropostos *off-grid*. Hidrogênio. Carros elétricos. Abastecimento.

ABSTRACT

Energy transition has been discussed globally by various countries in recent years, including Brazil. With the aim of reducing pollution from harmful gases to the planet, the Brazilian transportation sector, which mostly still uses combustion-powered means of transport, is one of the main contributors to pollutant gas emissions. In this context, it becomes necessary to seek solutions that can encourage the introduction of more sustainable transportation methods to society. Electric and hybrid vehicles are an example, requiring a robust infrastructure network for optimal implementation. This work is based on off-grid charging stations, exploring the possibility of hybrid refueling for both electric cars and fuel cell vehicles. In conclusion, a specific case study will be conducted to assess the technical feasibility of a hybrid off-grid hydrogen charging station in the city of Florianópolis, analyzing the resources and equipment required for its construction and operation, along with site selection and a study of the existing infrastructure in the region.

Keywords: Energy transition. Off-grid charging stations. Hydrogen. Electric cars. Refueling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desempenho das Emissões no Transporte Veicular.....	11
Figura 2 - Consumo Total por Tipo de Combustível.....	17
Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira.....	19
Figura 4 - Eficiência da Matriz Elétrica Brasileira.....	20
Figura 5 – Consumo Total por Tipo de Combustível.....	23
Figura 6 – Arquitetura dos Veículos Elétricos (BEVs).....	27
Figura 7 – Arquitetura do Veículo Elétrico híbrido <i>Plug-in</i> (PHEVs).....	28
Figura 8 - Arquitetura do Veículo Híbrido (HEV).....	29
Figura 9 - Arquitetura do Veículo a célula a combustível (FCEV).....	30
Figura 10 - Montadora com Mais Emplacamentos de Caminhões Elétricos no Brasil.....	32
Figura 11 – Toyota <i>Mirai</i>	35
Figura 12 – Protótipo Nissan e-NV200.....	36
Figura 13 - Diagrama Esquemático Eletroposto <i>Off-Grid</i>	45
Figura 14 – Diagrama Elétrico Eletroposto <i>Off-grid</i> de Hidrogênio Verde.....	46
Figura 15 – Vista Panorâmica Bolsão CASAN.....	50
Figura 16 – Entrada do Bolsão CASAN.....	50
Figura 17 - Diagrama Esquemático Eletroposto <i>Off-Grid</i> de Hidrogênio.....	51
Figura 18 – Kit Coletor de Água da Chuva VF1.....	52
Figura 19 – Cisterna Vertical Modular (1000 litros).....	53
Figura 20 – Aparelho de Osmose Reversa.....	54
Figura 21 – Placa solar fotovoltaica DAH 700W (DHJ-66Y18-DG).....	55
Figura 22 – Kit inversor + carregador de veículo elétrico.....	56
Figura 23 – Gerador de turbina eólica horizontal Magnum.....	57
Figura 24 – Central Deltra Pro ULTRA 7200W EcoFlow.....	58
Figura 25 – Diagrama de fluxo eletrólise.....	59
Figura 26 – Eletrolisador alcalino <i>Auyan</i> (AOQING_1000A).....	60
Figura 27 – Eletrolisador PEM (LCWE-25-30).....	61
Figura 28 – Eletrolisador de óxido sólido (E3000).....	62
Figura 29 – Compressor de hidrogênio <i>Atlas Copco</i>	64
Figura 30 – Cilindro da Alta Pressão (Gifel).....	65
Figura 31 – Célula a Combustível <i>PEMFC</i> (H 5000).....	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABVE	Associação Brasileira do Veículo Elétrico
AFC	<i>Alkaline Fuel Cells</i> (Células a Combustível Alcalinas)
ANFAVEA	Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
bar	Unidade de Pressão
BASE	<i>Beta-Alumina Solid Electrolyte</i> (Eletrólito Sólido Beta-Alumina)
BEN	Balanço Energético Nacional
BESS	<i>Battery Energy Storage System</i> (Sistema de Armazenamento de Energia em Bateria)
BEVs	<i>Battery Electric Vehicles</i> (Veículos Totalmente Elétricos)
°C	<i>Graus Celsius</i>
CA	Corrente Alternada
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CC	Corrente Contínua
CNT	Confederação Nacional dos Transportes
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
CO	Monóxido de carbono
CO ₂	Dióxido de carbono
CO ₂ eq	Dióxido de Carbono Equivalente
COP 21	21 ^a Conferência das Partes
DMFCs	<i>Direct Methanol Fuel Cells</i> (Células a Combustível de Metanol Direto)
<i>e-FUEL</i>	Combustíveis Sintéticos
EMTU/SP	Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
EREVs	<i>Extended Range Electric Vehicle</i> (Veículos elétricos de alcance estendido)
ESS	<i>Energy Storage System</i> (Sistema de Armazenamento de Energia)
FCEV	<i>Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle</i> (Veículos Movidos à Célula Combustível com Hidrogênio)
GEE	Gases de Efeito Estufa
GEVs	<i>Grid-Enabled Vehicles</i> (Veículos Conectáveis a Rede Elétrica)
H ₂	Fórmula Química do Hidrogênio
H ₂ O	Fórmula Química da Água
HEVs	<i>Hybrid Electric Vehicles</i> (Veículos Híbridos)
H ₃ PO ₄	Ácido fosfórico
HM	Hidreto Metálico
HOR	<i>Hydrogen Oxidation Reaction</i> (Reação de Oxidação de Hidrogênio)
IEA	<i>International Energy Agency</i> (Agência Internacional de Energia)
KOH	Hidróxido de Potássio
L/h	Litros por hora
LiK	Lítio-potássio
LiNa	Lítio-sódio
m ³	Metro cúbico
MCFCs	<i>Molten Carbonate Fuel Cells</i> (Células a Combustível de Carbonato Fundido)
MCI	Motores de Combustão Interna
MIDR	Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional
MPa	Megapascal

Mt	Milhões de Tonelada
MW	Megawatt
NaOH	Hidróxido de Sódio
NBR	Norma Brasileira
NL/h	Normal Litros por hora
Nm ³ /h	Normal metro cúbico por hora
O ₂	Fórmula Química do Oxigênio
ONS	Operador Nacional do Sistema
ONU	Organização das Nações Unidas
PAFC	<i>Phosphoric Acid Fuel Cells</i> (Células a Combustível de Ácido Fosfórico)
PEM	<i>Polymer Electrolyte Membrane</i> (Membrana Eletrolítica de Polímero)
PEMFC	<i>Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells</i> (Células a Combustível de Membrana Eletrolítica de Polímero)
PEVs	<i>Plug-In Electric Vehicles</i> (Veículos Elétricos <i>plug-in</i>)
PIB	Produto Interno Bruto
PNDU	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PROÁLCOOL	Programa Nacional de Álcool
PROINFA	Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
PHEVs	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicles</i> (Veículos Elétricos Híbridos <i>plug-in</i>)
RFC	<i>Reversible Fuel Cells</i> (Células a Combustível Reversíveis)
RPEV	<i>Road Powered Electric Vehicle</i> (Veículos Elétricos Recarregáveis por Estrada)
SC	Santa Catarina

SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa
SENATRAN	Secretaria Nacional de Trânsito
SOE	Solid-Oxide Electrolyzer (Eletrolisador de Óxido Sólido)
SOFC	<i>Solid Oxide Fuel Cells</i> (Células a Combustível de Óxido Sólido)
Tep	Toneladas Equivalentes de Petróleo
TWh	TeraWatt-hora
URA	Unidade de Recuperação Ambiental
V2G	<i>Vehicle to Grid</i> (Conexão Veículo para Rede)
V2H	<i>Vehicle to Home</i> (Conexão Veículo para Casa)
V2V	<i>Vehicle to Vehicle</i> (Conexão Veículo para Veículo)
W	Watt
Wh	Watt-hora
Wh/dia	Watt-hora por dia
WPT	<i>Wireless Power Transfer</i> (Transferência de Energia sem fio)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Justificativa	10
1.2	Definição do Problema	12
1.3	Objetivo Geral.....	13
1.4	Objetivos Específicos.....	13
1.5	Estrutura do Trabalho.....	14
2	TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E ELETROMOBILIDADE	15
2.1	Transição energética e matriz eletroenergética brasileira	16
2.2	Mobilidade elétrica no setor de transportes	24
2.2.1	Veículos elétricos <i>Plug-in (Plug-in Electric Vehicles - eBEVs)</i>	26
2.2.2	Veículos elétricos híbridos <i>Plug-in (Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs)</i>	27
2.2.3	Veículos Híbridos (<i>Hybrid Electric Vehicles – HEVs</i>)	28
2.2.4	Veículos Elétricos de Célula de Combustível (<i>Fuel Cell Electric Vehicles – FCEVs</i>)	29
2.2.5	Veículos com Célula de Combustível de Óxido Sólido (<i>Solid Oxide Fuel Cell Vehicles - SOFC</i>).....	30
2.2.6	Veículos Elétricos Recarregáveis por Estrada (<i>Road Powered Electric Vehicle - RPEVs</i>)	31
2.2.7	Veículos Elétricos de Alcance Estendido (<i>Extended Range Electric Vehicle - E-REVs</i>)	31
2.3	Considerações sobre a Transição Energética no Brasil	37
3	INFRAESTRUTURA E ELETROPOSTOS.....	38
3.1	Aspectos de infraestrutura.....	39
3.2	Eletropostos <i>off-grid</i>	44
3.3	Considerações sobre a Infraestrutura e Eletropostos.....	47
4	ANÁLISE TÉCNICA DE MERCADO E ESTUDO DE CASO	49
4.1	Sistema de Captação e Purificação da Água.....	52
4.2	Geração de Energia Elétrica (Solar Fotovoltaica e Eólicoelétrica)	54
4.3	Eletrolisadores	58
4.4	Compressores e Armazenamento de Hidrogênio (H ₂).....	62
4.5	Células Combustível.....	65
4.6	Considerações sobre a Análise de Mercado e ao Eletroposto na cidade de Florianópolis	69
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS.....	73

1 INTRODUÇÃO

A transição energética possui cada vez mais destaque mundial devido à grande quantidade de fontes poluentes emissoras de Gases de Efeito Estufa (GEE), principal agente das mudanças climáticas (Bezerra, 2021). Dessa forma, exigem-se mais acordos, planos e programas nacionais que busquem viabilizar e promover um uso mais eficiente e sustentável de recursos naturais. Através disso, visando desenvolver novas cadeias produtivas sustentáveis, atividades poluidoras atualmente utilizadas necessitam de mudanças significativas, tal mudança é denominada transição energética, com enfoque na descarbonização para neutralidade climática (Castro; Castro, 2024, p. 8-10).

Diferente de outros países, o Brasil possui um território rico e abundante em recursos energéticos naturais não-esgotáveis e, portanto, possui potencial suficiente para ser destaque nesta transição energética, que visa buscar a substituição de recursos energéticos emissores de GEE para recursos não-esgotáveis, renováveis e sustentáveis. Segundo o Operador Nacional do Sistema (ONS, 2023), a matriz elétrica brasileira no ano de 2023 teve participação de 88% de geração renovável, sendo 50,6% oriundas de hidrelétricas e 17,8% provenientes de geração eólicoelétrica e solar fotovoltaica.

Conforme a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2023b), o petróleo e seus derivados correspondem a 35,7% das fontes não renováveis, sendo esta fonte utilizada principalmente para a produção de combustíveis fósseis no setor de transportes, tais como, aéreo, aquático, ferroviário e rodoviário. Segundo Castro e Castro (2024, p. 8-10), o setor de transporte é o principal causador de emissões de GEE no setor energético, com 52,6%.

Estima-se que até 2032 o setor de transportes de cargas terá um aumento 3,2% a.a., fundamental para o crescimento dos setores de agronegócio, industrial e de serviços. Já, o setor de transporte de passageiros, tende a crescer 6,0% a.a. até 2032, devido a necessidade da sociedade por mobilidade (EPE, 2023a).

A mobilidade social por sua vez é estritamente utilizada por veículos à combustão, desta forma, a mudança neste setor seria de grande impacto ambiental, considerando o objetivo de descarbonização no setor de transporte. Segundo Lima e

Portugal (2018), a eletrificação de veículos a combustão é uma alternativa de destaque nos últimos anos, por reduzirem as emissões de CO₂ em países onde a matriz energética é composta principalmente por fontes energéticas não-esgotáveis e com baixa emissão de carbono, como no Brasil. Ainda, de acordo Wady (2021), os veículos elétricos produzem ruídos imperceptíveis e com possibilidade de integração de diversas fontes de energia, como a solar fotovoltaica e biocombustíveis (biodiesel e *e-FUEL*) no âmbito de veículos híbridos.

Outra alternativa seria veículos movidos a hidrogênio, ou seja, o uso do hidrogênio verde como combustível. De acordo Ferreira (2020), o hidrogênio pode ajudar a solucionar os desafios no setor energético, onde a produção do mesmo pode ser feita através de diversas fontes não-esgotáveis e sustentáveis e, além disso, seu uso como combustível não produz poluentes, tendo em vista que o subproduto são O₂ e H₂O.

Nesse sentido, torna-se imprescindível a busca por opções mais sustentáveis ao setor de transportes que gerem menos impactos ambientais e climáticos ao planeta, como elementos de infraestrutura e de recarga para a inserção destes veículos alternativos (elétricos, híbridos *plug-ins* e hidrogênio) perante à sociedade. Estes são denominados eletropostos, providos de carregadores, podendo ser conectados à rede para obtenção de energia (Wady, 2021) ou utilizar fontes renováveis que, como visto anteriormente, são amplamente disponíveis no Brasil.

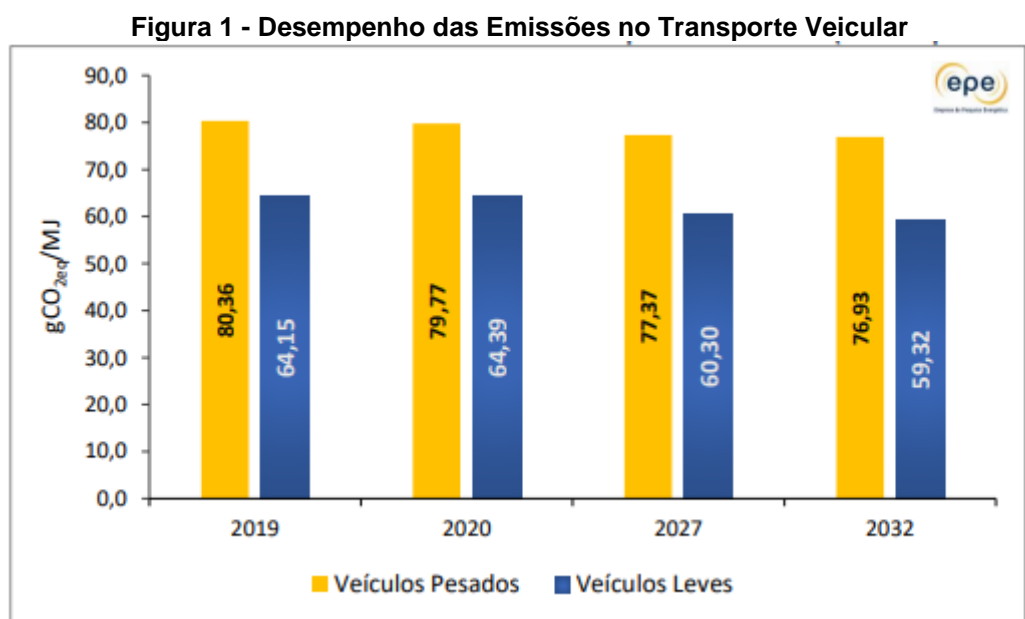
1.1 Justificativa

De acordo com a EPE (2023a), o setor de transportes terá participação de 34% do consumo energético setorial no Brasil em 2032, isso ocorre devido à evolução considerável desse setor desde o começo dos anos 2000, com 3,1% a.a. Além disso, o aumento do Produto Interno Bruto (PIB) alinhado à demanda da sociedade junto ao aumento do número de veículos, contribuíram para o desenvolvimento deste setor.

Conforme Andrade e Mattei (2010), o Brasil possui um consumo energético maior que a média mundial no setor de transportes, tendo assim valores elevados de emissões de GEE, como por exemplo o dióxido de carbono (CO₂). Apenas em 2021, o setor de transportes teve uma emissão total de 197,8 milhões de toneladas de

dióxido de carbono equivalente [Mt CO₂eq] (Infra, 2023). Segundo o Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023b), as emissões de gases poluentes no setor de transportes brasileiro aumentaram cerca de 44% desde a década de 70, devido ao maior uso de combustíveis fósseis, onde a maior utilização foi no setor rodoviário.

O setor rodoviário representa 70% da matriz de transporte brasileira (EPE, 2022). A Figura 1 apresenta a intensidade de carbono no setor rodoviário, tendo um comparativo entre veículos leves e pesados:



Fonte: EPE (2022)

Como retratado na Figura 1, por mais que a intensidade de carbono no setor rodoviário seja alta, é notável a diminuição mesmo que leve ao longo dos anos. Isso ocorreu pelo impacto significativo do uso de recursos energéticos sustentáveis, como de biocombustíveis no setor de transportes, visto que, conforme EPE (2022), o incentivo e uso destes recursos aumentou 7,1% a.a. Segundo Gapski *et al.* (2022), a inserção de veículos alternativos (elétricos, híbridos *plug-ins*, a hidrogênio) na sociedade brasileira é fundamental para a descarbonização do setor de transportes, tendo em vista que, em especial os veículos elétricos e a hidrogênio, não emitem poluentes durante sua operação e uso que afetam nosso meio ambiente.

Logo, a criação de uma infraestrutura pública com capilaridade para o abastecimento desses veículos é um fator crucial na sua inclusão, considerando a

rapidez de um usuário abastecer um veículo a combustão comparado ao tempo prolongado de carregamento dos veículos elétricos e escassez de estações de carregamento (Frantz, 2023) e a necessidade do hidrogênio ser provido a baixo custo (Seddon, 2022), devido à concorrência com os combustíveis fósseis. Esses fatores podem gerar insegurança e receio pela sociedade brasileira, podendo dificultar a implantação desses veículos no setor de transportes rodoviário.

Conforme Castro (2023), a introdução destes veículos no Brasil segue evoluindo, todavia um carro elétrico demora em média 8 horas para recarregar completamente em uma tomada de 220V (Novais, 2016), e os veículos movidos a célula combustível utilizando hidrogênio (*FCEVs*) não seriam fáceis de abastecer com a estrutura de abastecimento veicular atual no Brasil, predominante para veículos com motores a combustão, onde a gasolina é o combustível mais comercializado nos postos brasileiros (Cavalcante, 2021). Nesse sentido, seria fundamental a alocação de eletropostos oferecendo serviços especializados para inserção destes veículos e, além de tudo, que estes pontos de abastecimento possuíssem a mesma disponibilidade e autonomia semelhante ao sistema de postos de combustíveis petrolíferos.

1.2 Definição do Problema

A eletrificação do setor de transportes é essencial para a transição energética e, apesar da venda de veículos alternativos (elétricos e híbridos *plug-ins*) estarem crescendo no Brasil, segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2023) apenas 3% de veículos híbridos e elétricos foram licenciados no ano de 2022. Para que a introdução dos veículos alternativos no Brasil obtenha sucesso em um melhor ritmo, seria essencial investir significativamente em infraestrutura de recarga, considerando que a quantidade de eletropostos no Brasil é limitada em comparação a postos de combustíveis fósseis.

É indispensável a distribuição de eletropostos em todas as regiões do território nacional, condição necessária para dar mais confiança ao consumidor brasileiro a adquirir um veículo alternativo (Holzmann; Dallamuta; Mazur, 2020). Contudo, a adição desses postos de carregamento causaria impactos relevantes às

redes de distribuição de energia elétrica, sendo necessário um estudo de melhoria de infraestrutura em sistemas de distribuição a fim de evitar sobrecargas e demais consequências (Vasconcelos, 2023).

Neste contexto, será analisado a implantação de eletropostos *off-grid* (sem conexão à rede pública de energia) que possam ofertar tanto energia elétrica, que seria proveniente de energias não-esgotáveis e renováveis (solar fotovoltaica e eolioelétricas), quanto o hidrogênio, proveniente da eletrólise da água. Segundo Gomes (2022), a eletrólise é uma reação química através da passagem de corrente elétrica que provoca oxirredução, causando assim a decomposição da molécula da água em hidrogênio e oxigênio.

1.3 Objetivo Geral

Explorar os recursos de infraestrutura e energéticos demandados para implantação de eletropostos *off-grid* na região da Grande Florianópolis, que sejam capazes de suprir tanto energia elétrica, proveniente de energias não-esgotáveis e renováveis (solar fotovoltaica e eolioelétrica), quanto hidrogênio, proveniente da eletrólise da água.

1.4 Objetivos Específicos

Para que o objetivo geral seja atingido, apresenta-se os seguintes objetivos específicos:

- a) analisar o potencial da matriz elétrica e da matriz energética brasileiras no escopo da transição energética;
- b) averiguar os principais aspectos da transição energética para o setor de transportes;
- c) explorar os recursos e a infraestrutura requeridas para a mobilidade elétrica;
- d) elaborar os aspectos condicionantes para implantação de eletroposto híbrido a hidrogênio.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em cinco capítulos, iniciando com a Introdução, em seguida apresentado a seção de Transição Energética e Eletromobilidade, depois comentando sobre a parte de Infraestrutura e Eletropostos, posteriormente exibindo a Análise Técnica de Mercado e Estudo de Caso, finalizando com Considerações Finais e Referências Bibliográficas.

No capítulo 1 é onde está definido os objetivos, justificativas e definição do problema.

No capítulo 2 é esclarecido sobre a transição energética, juntamente com a matriz elétrica e energética do Brasil, comentando também sobre a arquitetura e crescimento de veículos elétricos e híbridos no país, oferecendo uma análise crítica e uma contextualização do tema com base em artigos, revistas científicas e documentos oficiais.

No capítulo 3 é feito um comparativo entre postos convencionais e eletropostos, exaltando a diferença de arquitetura entre cada um e as diferenças de infraestrutura existente entre elas no Brasil. Também é citado os diferentes tipos de eletroposto e suas conexões *on-grid* e *off-grid*.

No capítulo 4 é realizado a escolha do local que o eletroposto irá ser implementado, juntamente com os motivos da seleção dessa região. Também é realizado uma análise dos equipamentos que serão necessários para que esse ponto de recarga seja autêntico, explicando o que cada tecnologia faz e onde estão sendo fabricados/comercializados.

Para finalizar, no último capítulo são apresentadas as Considerações Finais do autor referente a cada capítulo mencionado, concluindo com a última parte onde é fornecido as referências bibliográficas.

2 TRANSIÇÃO ENERGÉTICA E ELETROMOBILIDADE

Fatores ecológicos e ambientais são discutidos pela sociedade há muito tempo, o Protocolo de Kyoto e o Acordo de Paris são exemplos de esforços que buscam um ambiente mais saudável e verde, vinculados com a transição energética e visando menos emissões de gases poluentes. Segundo Gessica Nery (2005), o Protocolo de Kyoto é um tratado adotado em 1998 junto à Organização das Nações Unidas (ONU), no qual foram iniciadas estratégias destinadas a alcançar a estabilização e o controle das concentrações de gases de efeito estufa (GEE) na atmosfera, com a finalidade de atender os impactos e consequências do aquecimento global. Os países de Anexo 1 (36 países) teriam como compromisso diminuir a quantidade de seus GEE em pelo menos 5,2% em relação aos níveis de 1990. Países que não estão incluídos no Anexo 1 não são obrigados a cumprir essa meta, porém são encorajados a contribuir na medida do possível para a redução desses gases.

Já o Acordo de Paris ocorrido em novembro de 2015, onde foi aprovado por quase duzentos países, busca reduzir as emissões de GEE na atmosfera o suficiente para manter o aquecimento global abaixo de 2°C, além de intensificar os esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C (Milanez *et al.*, 2017). Nesse acordo consta uma análise com o objetivo verificar as mudanças nos perfis de emissões de GEE pelos países que faziam parte do Protocolo de Kyoto, com ênfase no BASIC, composto por Brasil, África do Sul, Índia e China (Nery, 2005).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2022), durante a 21ª Conferência das Partes (COP 21), como parte do Acordo de Paris, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de seus GEE em 37% até 2025 e em 43% até 2030, tendo como base o ano de 2005. Ainda segundo dados divulgados pela KPMG (2024), os setores de agricultura, transportes e resíduos são os que mais emitiram GEE no Brasil em 2022, sendo que o setor de transportes se destaca, pois foi maior emissor de GEE nos períodos de 2005 a 2022, com um registro de 53%. Murta *et al.* (2023) afirmam que o transporte de passageiros e cargas rodoviárias são grandes emissores de GEE, no qual mais de 60% das cargas brasileiras são transportadas por rodovias, fazendo com que seja fundamental a procura de novas alternativas de

energia renovável para este setor, que representa cerca de um quarto das emissões globais de CO₂ (Milanez *et al.*, 2017). Portanto, a busca pela transição energética e pela redução de GEE no Brasil é urgente.

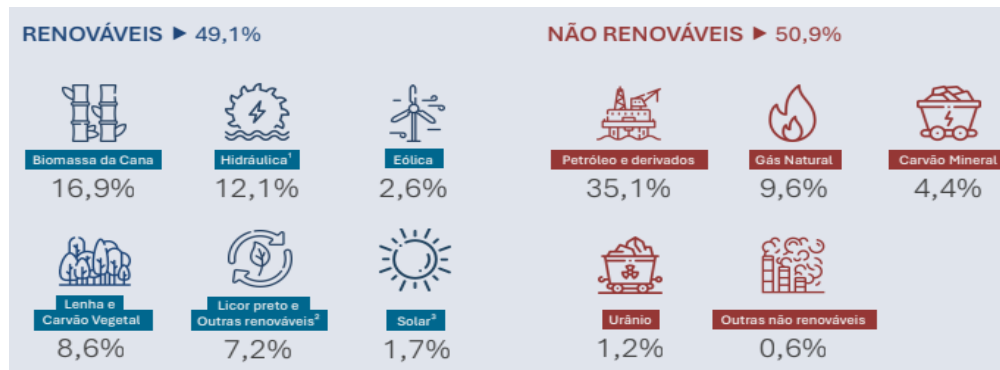
2.1 Transição energética e matriz eletroenergética brasileira

A matriz energética brasileira ainda é dependente de derivados energéticos provenientes do petróleo. No relatório do Balanço Energético Nacional (BEN) divulgado em 2024, referente ao ano de 2023, pela EPE, apenas o setor de transportes emitiu mais de 428 milhões de toneladas de dióxido de carbono.

Segundo o INFRA (2023), a estrutura da matriz energética de um país é definida pela disponibilidade de recursos internos ou pela capacidade de importação, pela demanda energética específica e pelas políticas energéticas determinadas por escolhas geopolíticas, restrições geográficas, econômicas e sociais, entre outras considerações relevantes. A definição de matriz energética consiste na união de diversos recursos energéticos primários (fontes provenientes diretamente da natureza sem terem sido modificadas) utilizadas para suprir a necessidade de energia em uma determinada região geográfica, esta análise permite compreender a dinâmica do fluxo energético ligado às principais atividades econômicas e sociais de um país.

As principais fontes de energia em uma matriz energética podem ser divididas em fósseis, como petróleo, gás natural e carvão, e renováveis, como energia hidráulica, eólica, solar, biomassa e geotérmica. Conforme a Figura 2, a qual apresenta a matriz energética brasileira e suas principais fontes, salientando que o petróleo e seus derivados ainda são utilizados amplamente como fonte de recurso energético primário no Brasil.

Figura 2 - Fontes Renováveis e Não Renováveis no Brasil



Fonte: EPE (2024)

Como visto na Figura 2, o petróleo predomina entre os recursos energéticos primários não renováveis mais utilizados no Brasil, vale destacar que os derivados da biomassa da cana, lenha e carvão vegetal, que somados possuem 25,50% da matriz energética brasileira são considerados fontes renováveis, porém podem se tornar recursos esgotáveis caso a taxa de demanda seja superior a taxa de recomposição do capital natural ou que não seja mais “plantado”, como por exemplo a cana-de-açúcar ou árvores para a extração de lenha, pois dependem de atividades antrópicas.

Recursos renováveis podem se tornar esgotáveis se os recursos primários forem utilizados em uma taxa que exceda sua capacidade de recomposição natural. Recursos não esgotáveis são aqueles que se regeneram naturalmente ao longo do tempo e permanecem disponíveis de forma contínua sem necessidade de intervenção antrópica, a principal característica dessas fontes é a capacidade de serem repostas por processos naturais dentro de uma escala de tempo humana (luz solar, vento, água), sendo consideradas assim, não-esgotáveis. Porém, esses recursos podem vir a se tornar esgotáveis, seja por mudança climática, superexploração ou demanda humana. A seguir estão detalhados esses fatores:

a) demanda humana: aumento da demanda por energia devido ao crescimento populacional e econômico pode acelerar o uso de recursos não esgotáveis e renováveis, superando a taxa de regeneração;

b) mudanças climáticas: as alterações no clima podem afetar a disponibilidade de recursos não-esgotáveis e renováveis, como por exemplo variações nos padrões de chuva, podendo diminuir os níveis dos rios;

c) superexploração: a taxa de exploração econômica pode superar a taxa de recomposição natural (não-antrópica) do estoque devido ao uso excessivo de recursos naturais a uma taxa que excede a capacidade de regeneração do estoque do recurso em razão do planejamento e gestão econômicos.

Portanto, é de grande importância uma gestão sustentável desses recursos primários. A implementação de políticas de conservação, junto a criação de programas de uso eficiente de recursos hídricos para aplicação de práticas de conservação de água e tecnologias de uso eficiente e monitoramento e regulamentação do uso desses recursos, podem auxiliar a extração a não exceder a taxa de recomposição do estoque do capital natural.

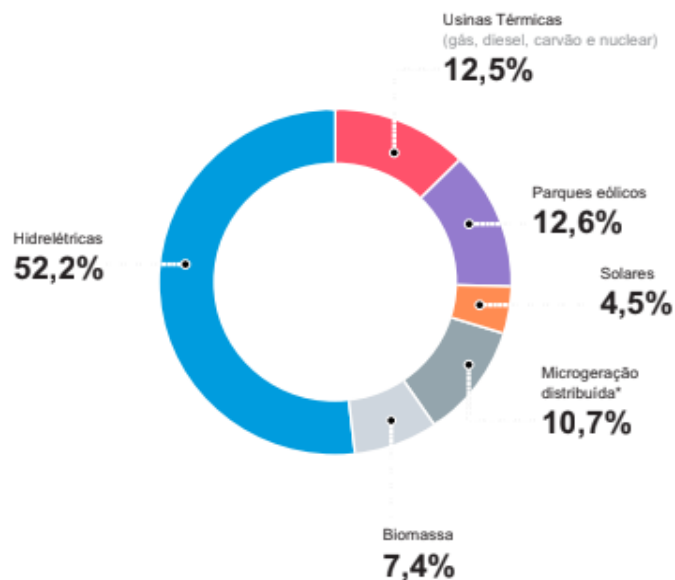
O Brasil, com uma das maiores extensões territoriais do mundo e uma alta incidência de radiação solar, possui um potencial considerável para aproveitar a energia solar por meio de sistemas fotovoltaicos. Nesses sistemas, as células nos painéis fotovoltaicos absorvem a radiação solar e a convertem diretamente em corrente elétrica contínua. Segundo Ferreira e Pacheco (2022), esse recurso energético renovável e inesgotável tem uma crescente inserção a matriz energética brasileira, não apenas por sua capacidade de contribuir para a sustentabilidade ambiental, mas também por seus impactos financeiros positivos para os consumidores, reduzindo custos com energia elétrica ao longo do tempo.

Já, a geração da energia eólicoelétrica, ocorre pelo movimento do ar atmosférico, que impulsiona as pás das turbinas eólicas. Essas pás são conectadas a um eixo que, por sua vez, está ligado a um gerador elétrico. Dessa forma, esse sistema aproveita a energia cinética do vento de maneira eficiente para produzir energia limpa e renovável (Pimentel, 2022). A energia eólica desempenha um papel crucial no atual cenário energético do Brasil, destacando-se pelo seu significativo potencial energético demonstrado através dos parques eólicos em operação. Segundo Santos e Araújo (2023), esse crescimento é impulsionado pelos incentivos do Programa de Incentivos às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que tem como objetivo principal aumentar a participação das energias limpas na matriz elétrica do país. Além dos incentivos governamentais, as condições climáticas favoráveis do Brasil, especialmente na região Nordeste, têm favorecido a expansão

da energia eólicoelétrica, estabelecendo-a como uma das líderes na implementação dessa forma de geração de energia renovável no país.

De acordo com a EPE (2024), o uso dessas fontes renováveis e não-esgotáveis durante o ano de 2023 comparado com o de 2022, obteve-se um aumento significativo de 68,1% para a geração solar fotovoltaica e 17,4% para geração eólicoelétrica. Segundo o INFRA (2023), matriz elétrica representa a diversidade de combustíveis ou fontes utilizadas para gerar energia elétrica em uma determinada região e, no caso do Brasil, têm-se um cenário diferente do restante do mundo, usando em sua maioria energia renovável. Apesar disso, pelo Brasil se tratar de um país rico em recursos hídricos, que por sua vez possui períodos de seca devido à escassez de chuvas, faz com que haja a necessidade de geração por termelétricas, aumentando o custo da eletricidade para os consumidores brasileiros (Tavares, 2023). Conforme Ferreira e Cardoso (2020), a maior parte de toda a energia elétrica gerada no Brasil ainda é proveniente de hidroelétricas, como mostra a Figura 3.

Figura 3 - Matriz Elétrica Brasileira



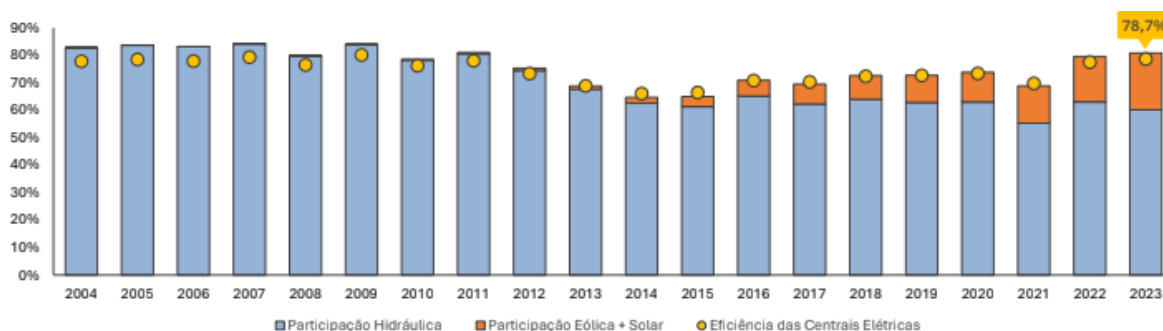
Fonte: INFRA (2023).

Ainda que exista essa dependência pelas hidroelétricas e termoeletricas, que juntas totalizam 64,7% da energia produzida no país, a geração através de usinas

termoelétricas teve uma queda de 1,9% em relação a 2022, sendo superada pelos parques eolioelétricos onde sua potência instalada alcançou 28,88 MW em 2023. Além disso, a participação de recursos não-esgotáveis e renováveis na matriz elétrica brasileira em ficou em 87,9% em 2023, o envolvimento desses recursos na geração de energia elétrica se manteve acima dos 70% nos últimos 20 anos, isso se deve pela política de incentivos e programas que contribuem para a diversificação de produção de energia, ajudando a gerar estabilidade para o regime hídrico e demonstrando o empenho do Brasil no processo de transição energética (EPE, 2024).

Na Figura 4, tem-se um gráfico que apresenta a participação de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, com destaque para a participação da geração solar fotovoltaica e eolioelétrica, que somadas atingiram 78,7% de participação na matriz elétrica do país em 2023. A geração solar fotovoltaica atingiu cerca de 50,6 TWh com uma expansão de 54,8% em relação a 2022, já a geração eolioelétrica atingiu cerca de 95,8 TWh em 2023, com uma expansão de 20,7% em relação ao ano anterior (EPE, 2024). Mostrando de fato a renovabilidade e o diferencial que o Brasil possui diante do mundo.

Figura 4 - Eficiência da Matriz Elétrica Brasileira



Fonte: EPE (2024).

Através da Figura 4, pode-se verificar como a geração de energia eolioelétrica e solar fotovoltaica estão cada vez mais se destacando na geração de energia elétrica no Brasil. Em 2023, a eletricidade gerada no país totalizou 708 TWh, marcando um aumento de 4,6% em relação a 2022, com maior consumo nos setores industriais, agropecuários e de transportes.

Apesar deste aumento na eletricidade gerada, a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) para a produção dessa energia teve uma redução de 6% em relação a 2022 (EPE, 2023d), tal feito ocorreu devido à geração fotovoltaica e

eolioelétrica que vem crescendo no país. Segundo Andrade e Mattei (2013), a emissão de poluentes e GEE liberados na atmosfera são provenientes da queima de combustíveis fósseis (não renováveis), essas emissões seriam decorrentes das atividades industriais, sistemas de transporte, etc.

De acordo com (SEEG, 2023a), o segmento industrial é uma atividade de difícil redução de emissões, diferentemente da mudança de uso da terra, por exemplo. A descarbonização da indústria depende parcialmente de novas tecnologias ainda não totalmente consolidadas, como a captura e armazenamento de carbono ou a produção de aço utilizando hidrogênio (H₂). Conforme os últimos dados divulgados pelo INFRA (2023), o setor de transportes segue sendo o líder de consumo energético brasileiro (32,5%), seguido dos setores industriais (32,3%) e agropecuário (5,0%).

Diante de dados divulgados pelo Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases de Efeito Estufa (SEEG, 2023a) referente ao ano base 2021, as emissões no setor industrial aumentaram para 169,9 milhões de toneladas em comparação ao ano de 2020, que lançou um total de 155,4 milhões de toneladas de CO₂ na atmosfera (incluindo emissões atribuídas à energia e à produção industrial não especificada). Já, no setor agropecuário, desde 1970 as emissões do segmento aumentaram 182% e em 2021 atingiram o ponto mais alto da série histórica, totalizando 601 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, representando um crescimento de 3,8% em comparação a 2020, quando foram emitidas 579 milhões de toneladas. Este fato ocorreu especialmente devido à fermentação entérica, que se destacou como a principal fonte de emissões, representando 79,4% do total, equivalente a 477 milhões de toneladas de CO₂. No setor de transportes o consumo exorbitante de energia ocorreu pelo amplo processo de transformação do petróleo devido à grande demanda de seus derivados, em função do crescimento do transporte de cargas incentivado pelo acréscimo do consumo de serviços e bens, mas também de passageiros e aumento das produções industriais e agropecuárias (EPE, 2023a).

O setor de transportes é dividido em quatro variantes: rodoviário, ferroviário, aquaviário e aeroviário. Devido ao fato de que esses distintos modais possuem rendimentos e necessidades energéticas variadas, cada um provoca implicações diferentes no que diz respeito ao consumo de energia e às emissões de

GEE. O setor de transportes brasileiro é altamente diversificado na categoria de rodoviários, com números muito acima da média mundial e discrepantes frente a outros países de dimensão continental igual ao Brasil (Andrade; Mattei, 2013).

De acordo com a EPE (2021), o setor de transportes é responsável por 33% do consumo final de energia no Brasil, sendo que 40% desta demanda energética é devido ao transporte de cargas rodoviárias. No Brasil, os caminhões pesados têm papel significativo no tráfego de mercadorias e produtos, fazendo com que sejam responsáveis pela maior parte do aumento no consumo de energia e emissão de gases poluentes no setor de transportes. O crescimento da frota de caminhões aumentou a uma taxa de 3,5% ao ano, entre 2005 e 2018, fazendo com que o consumo de diesel crescesse de 20 milhões de Toneladas Equivalentes de Petróleo (tep) para 30 milhões de tep, um aumento significativo de 3,2% ao ano.

De acordo com a (EPE, 2023c), a predominância do transporte rodoviário no Brasil resulta principalmente do seu processo de industrialização na segunda metade do século XX, fazendo com que a matriz de transportes brasileira ocupe uma posição desfavorável em virtude da sua excessiva concentração neste modal. Essa concentração provoca impactos significativos no consumo de energia e nas emissões de GEE, devido majoritariamente ao transporte rodoviário de cargas e de passageiros (Andrade; Mattei, 2013).

Conforme dados da EPE (2023b), apesar de o frete rodoviário de cargas ser o menos eficiente em termos de energia por tonelada-km, os caminhões foram responsáveis por mais de 60% da movimentação de cargas nas últimas duas décadas, atingindo 70% em 2021 e representando mais de 90% do consumo de energia para a movimentação de carga. Além disso, em 2021 o transporte de cargas foi responsável por quase 57% das emissões do setor de transportes, com os caminhões pesados e semipesados sendo considerados os principais emissores de GEE, contribuindo para 70% de todas as emissões desse segmento (Bartholomeu *et al.*, 2023). Essa super utilização, juntamente com o transporte de passageiros, permaneceu aumentando consideravelmente os níveis de emissões, atingindo o patamar de 216,9 milhões de CO₂ equivalente em 2022. Como o transporte é a principal atividade emissora dos setores de energia e processos industriais, é fundamental que o país busque

alternativas ao uso do diesel de petróleo no transporte de cargas e de passageiros (SEEG, 2023b).

Em última análise, o relatório de análise das emissões de GEE do SEEG (2023a), cita que o setor de transporte aumentou 10% na emissão de poluentes no ano de 2021, retornando aos níveis observados em 2017. Esse crescimento foi impulsionado pelo consumo de óleo diesel em veículos pesados, que superou o recorde de 2014. O uso de gasolina também cresceu, enquanto o consumo de etanol diminuiu, resultando em um aumento das emissões. Automóveis são a segunda maior categoria de veículos emissores de GEE, sendo responsáveis por 31% das emissões de transporte em 2021, o que equivale a 197,8 milhões de toneladas de CO₂ equivalente, ficando atrás apenas dos caminhões, que representaram 42% das emissões.

Segundo Vaz (2015), com o crescimento da urbanização e da sociedade, cria-se preocupações referente às fontes de energia dos veículos, onde ao longo dos anos, essas fontes contribuíram para a poluição ambiental e o aumento do efeito estufa global. Segundo dados do Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2024), o uso dos combustíveis fósseis predomina no setor de transportes, conforme Figura 5 com dados acumulativos até abril de 2024.

Figura 5 - Consumo Total por Tipo de Combustível

CONSUMO TOTAL POR TIPO DE COMBUSTÍVEL (em milhões de m ³)						
TIPO	2019	2020	2021	2022	2023	2024 (consumo até abril)
Gasolina Comum **	38,2	35,8	39,3	43,0	46,0	14,3
Etanol Hidratado ***	22,5	19,3	16,8	15,5	16,0	7,0
Outros ****	22,1	19,2	21,3	21,2	21,9	7,3

Fonte: CNT (2024)

Através das informações expostas na Figura 5, percebe-se que após a pandemia o consumo de combustíveis fósseis apenas aumentou. No entanto, segundo dados divulgados pela EPE (2024) no site da Secretaria de Comunicação Social, apenas o petróleo e seus derivados nos últimos 10 anos sofreram uma queda de 39,2% para 35,1%, devido a diversificação e sustentabilidade na oferta energética

nacional que contribuíram para o crescimento da geração solar fotovoltaica, eolioelétrica e também a mobilidade elétrica.

2.2 Mobilidade elétrica no setor de transportes

A mobilidade elétrica é promovida como uma grande solução para a diminuição das emissões de poluentes, que consiste na eletrificação de automóveis para a descarbonização do setor de transporte, tornando o mais verde e sustentável. De acordo com Novais (2016), para um país cuja matriz energética é completamente baseada no petróleo, a transição de uma frota de veículos a combustão para veículos elétricos, mesmo que utilize petróleo em uma usina termelétrica de ciclo combinado para gerar eletricidade, pode resultar em uma economia mínima de 50% nos custos de locomoção de frota, considerando todas as perdas no transporte de energia e no carregamento das baterias. No Brasil, onde a matriz energética é predominantemente hidroelétrica, as vantagens poderiam alcançar cerca de 80%, representando uma economia anual de aproximadamente R\$100 bilhões. Com a matriz elétrica nacional em que as fontes limpas respondem por mais de 80% (frente à média mundial de 29%), unido a abundância de recursos hídrico, sol e vento (Revista Valor, 2024), a substituição da frota atual por veículos elétricos no Brasil, além de contribuir com a redução de gases poluentes, pode oferecer grandes vantagens econômicas.

Foram sugeridas várias alternativas de automóveis, desde veículos movidos por células de hidrogênio (H₂) até aqueles impulsionados por etanol e gás natural (Novais, 2016). A maioria dos Veículos Elétricos (VEs) existentes no mercado atual pode ser classificada principalmente em duas categorias: veículos elétricos *plug-in* (PEVs) e híbridos (Delgado, 2017). Segundo a ABVE (2024b), a comercialização desses veículos alternativos, como os elétricos, híbridos convencionais e híbrido *plug-in* seguem aumentando, apresentando um crescimento histórico nos últimos anos.

Os carros elétricos são automóveis que utilizam motores elétricos para sua propulsão. A energia elétrica desses motores pode ser obtida de várias formas: conexão a uma fonte externa, indução eletromagnética através de cabos aéreos, utilização de células de combustível de hidrogênio, conversão de energia mecânica

em elétrica em motores a combustão interna (como em alguns tipos de carros híbridos), ou até por meio da frenagem regenerativa do veículo (Frantz, 2023).

Conforme dados da *International Energy Agency* (IEA, 2020), os veículos elétricos a bateria e os veículos elétricos híbridos *plug-in* têm se consolidado no mercado devido seus significativos benefícios ambientais, tais como:

a) Eficiência energética:

Os veículos elétricos apresentam uma eficiência de três a cinco vezes superior em comparação aos veículos convencionais equipados com motores a combustão interna (MCI).

b) Emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE):

O avanço na geração de eletricidade a partir de fontes de baixo carbono pode permitir uma redução substancial nas emissões de GEE a partir da mobilidade elétrica, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas e promovendo uma matriz energética mais sustentável.

c) Poluição do ar:

Os veículos elétricos não produzem emissões na operação/uso, o que os torna especialmente adequados para a locomoção em áreas urbanas e rodovias. Nessas regiões, muitas pessoas estão expostas a poluentes prejudiciais originados do transporte rodoviário e a utilização de VEs pode contribuir significativamente para a melhora da qualidade do ar e a saúde pública.

d) Redução de ruído:

Os veículos elétricos são notavelmente mais silenciosos do que os veículos com motores de combustão interna, contribuindo substancialmente para a mitigação da poluição sonora em áreas urbanas e residenciais.

e) Segurança energética:

A implementação da mobilidade elétrica promove uma maior estabilidade energética ao reduzir a dependência de muitos países das importações de

petróleo, diversificando as fontes de energia e aumentando a garantia do fornecimento energético.

De acordo com Lima e Portugal (2018), os veículos elétricos recarregáveis enfrentam desafios como baixa autonomia operacional e necessidade de infraestrutura de carregamento. A expansão da infraestrutura pública de recarga é fundamental para facilitar a implementação generalizada de veículos elétricos, sendo que um dos maiores desafios enfrentados pelo mercado é assegurar que o aumento na construção de novas estações de recarga acompanhe proporcionalmente o crescimento da frota de veículos elétricos em circulação (IEA, 2023).

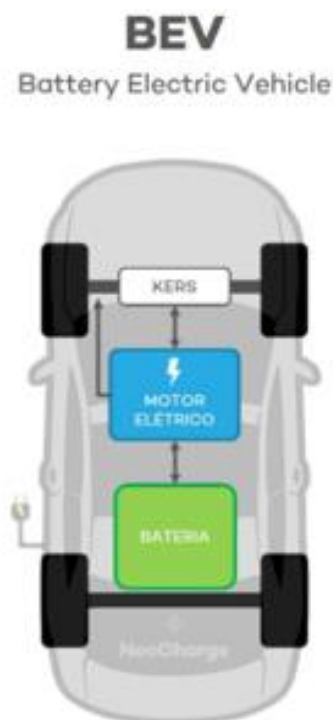
O uso do hidrogênio (H_2) para redução de emissão nos setores de transporte também é uma alternativa. Segundo Santos (2022), o hidrogênio é um vetor energético com potencial para desempenhar um papel crucial na descarbonização do segmento de transporte, especialmente quando produzido a partir de recursos energéticos primários e renováveis, como solar e eólica. O hidrogênio pode ser utilizado como fonte de energia para veículos elétricos de célula de combustível e incluído à matriz energética, sendo uma alternativa viável para ajudar a reduzir a emissão de gases poluentes. Ainda de acordo com Santos (2022), o Brasil tem investido em programas e projetos de hidrogênio a anos, em 2015 a Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo (EMTU/SP), juntamente com diversos colaboradores, iniciou o Projeto PNUD BRA/99/G32 - Ônibus a Célula a Combustível de Hidrogênio para Transporte Urbano no Brasil, com autonomia de 300km e emissão zero de poluentes. Esses veículos alternativos estão definidos mais detalhadamente nos tópicos a seguir, juntamente com sua arquitetura.

2.2.1 Veículos elétricos *Plug-in* (*Plug-in Electric Vehicles* - *eBEVs*)

Os VEs são veículos que podem ser carregados por meio de uma fonte externa de energia, armazenando essa energia em uma bateria. Normalmente, esses veículos são recarregados em tomadas elétricas situadas em garagens residenciais, estabelecimentos comerciais, estacionamentos públicos ou privados. Os *eBEVs* utilizam a energia armazenada para alimentar um motor elétrico.

Os *BEVs* são veículos totalmente elétricos que dependem exclusivamente de baterias recarregáveis para armazenar energia, não possuindo um motor de combustão interna e sendo recarregados exclusivamente por uma conexão a uma fonte externa de energia. Já, Na Figura 6, apresenta-se uma arquitetura simples de como o sistema dos *BEVs* são estruturados num veículo elétrico.

Figura 6 - Arquitetura do Veículo Elétrico (*BEVs*)

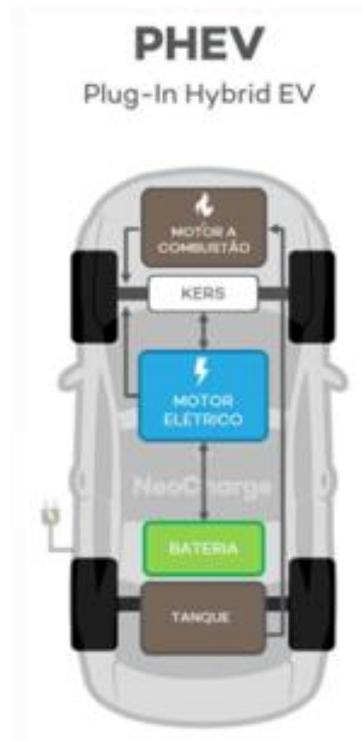


Fonte: NeoCharge (2023)

2.2.2 Veículos elétricos híbridos *Plug-in* (*Plug-in Hybrid Electric Vehicles - PHEVs*)

Os *PHEVs* são parecidos com os *BEVs*, sua diferença está na combinação de um motor de combustão interna com um motor elétrico e uma bateria recarregável. Essa junção permite que ambos os motores operem de forma independente aumentando a autonomia do veículo, podendo funcionar tanto em modo totalmente elétrico para curtas distâncias, quanto para combustão, utilizado em viagens mais longas. Na Figura 7, apresenta-se uma arquitetura simples de como o sistema dos *PHEVs* são estruturados num veículo híbrido.

Figura 7 - Arquitetura do Veículo elétrico híbrido *Plug-in (PHEV)*

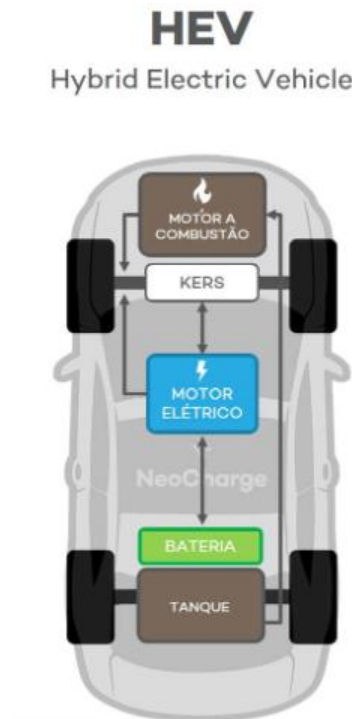


Fonte: NeoCharge (2023)

2.2.3 Veículos Híbridos (*Hybrid Electric Vehicles – HEVs*)

Os *HEVs*, conhecidos como veículos híbridos puros, utilizam um motor de combustão interna como o principal motor de propulsão. O motor elétrico dos *HEVs* melhora a eficiência do motor a combustão interna e auxilia na tração em baixa potência, servindo apenas para estes propósitos (Delgado, 2017). Ao contrário dos *PHEVs*, a bateria dos *HEVs* é carregada pelo motor a combustão e pela frenagem regenerativa, não podendo ser recarregada por uma fonte externa. Na Figura 8, tem-se uma arquitetura simples de como seu sistema é estruturado num veículo elétrico.

Figura 8 - Arquitetura do Veículo Híbrido (HEV)



Fonte: NeoCharge (2023)

2.2.4 Veículos Elétricos de Célula de Combustível (*Fuel Cell Electric Vehicles – FCEVs*)

Os *FCEVs* geram eletricidade por meio de uma célula de combustível, que utiliza uma reação entre hidrogênio e oxigênio. Eles emitem exclusivamente água como subproduto e proporcionam a vantagem de tempos de reabastecimento rápidos, além de um alcance prolongado. Na Figura 9 apresenta-se uma arquitetura simples de como seu sistema é estruturado num veículo elétrico.

Figura 9 - Arquitetura do Veículo a célula a combustível (FCEV)



Fonte: NeoCharge (2023)

Além desses tipos de veículos, também há o tipo de carga/combustível que eles utilizam. Nesse caso, os tópicos a seguir mostram algumas fontes energéticas que esses veículos utilizam para produzir energia elétrica e algumas formas de como esses veículos podem recarregar suas baterias.

2.2.5 Veículos com Célula de Combustível de Óxido Sólido (*Solid Oxide Fuel Cell Vehicles - SOFC*)

Diferentemente da maioria dos veículos com célula de combustível (FCEVs) que operam em temperaturas mais baixas e são mais comuns em aplicações automotivas, os veículos com SOFC operam em uma temperatura de 600-1000°C, possuindo vários benefícios, incluindo a ausência de um eletrólito líquido, o que elimina problemas de corrosão e de gerenciamento do eletrólito em temperaturas superiores a 500°C. Essa característica permite que veículos providos dessa tecnologia usem a reforma do etanol para produzir H₂ e, ao mesmo tempo, gerar calor.

necessário para produzir H₂ por meio do óxido sólido, omitindo o problema do hidrogênio com seu difícil armazenamento e transporte.

2.2.6 Veículos Elétricos Recarregáveis por Estrada (*Road Powered Electric Vehicle - RPEVs*)

Os *RPEVs* são veículos elétricos que recebem energia diretamente de redes elétricas integradas na infraestrutura das estradas, ao invés de depender unicamente de baterias internas. Esta tecnologia, frequentemente denominada "eletrificação de estradas" ou "estradas elétricas", possibilita que os veículos recarreguem suas baterias enquanto estão em movimento, sem a necessidade de paradas para recarga. A transferência de energia pode ocorrer através de cabos externos e trilhos instalados na via ou por indução eletromagnética, proporcionando uma solução inovadora para a manutenção da carga e eficiência energética dos veículos.

2.2.7 Veículos Elétricos de Alcance Estendido (*Extended Range Electric Vehicle - E-REVs*)

Os *E-REVs* compartilham semelhanças com os *PHEVs*, porém, diferem ao depender predominantemente do motor elétrico para a propulsão do veículo. O motor de combustão interna, neste caso, desempenha a função exclusiva de gerador, sendo ativado apenas para recarregar a bateria quando a carga elétrica é insuficiente. Dessa forma, o motor a combustão não é utilizado para a propulsão direta do veículo, mas apenas para garantir a autonomia elétrica ao fornecer energia adicional à bateria.

No âmbito da comercialização de automóveis, a Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN, 2023), de 2021 até 2023, houve cerca de 356 mil emplacamentos de caminhões em todo território nacional, sendo 104 mil apenas em 2023. Para caminhões elétricos do segmento, os volumes comercializados ainda são pouco significativos em relação ao total, considerando que foram vendidos um total de 328 unidades de caminhões elétricos em 2023. Vale ressaltar que em 2023 houve uma queda de vendas em relação ao ano de 2022, que distribuiu cerca de 677 unidades de caminhões eletrificados no país, tendo uma queda relevante de 52,3% em comparação a 2022, cenário ruim para um país que quer diminuir as emissões de poluentes 43% até 2030. Na Figura 10, apresenta-se as principais marcas de caminhões que foram vendidos em 2021, 2022 e 2023, com destaque para a marca chinesa JAC, que predominou nas vendas nos últimos 3 anos.

Figura 10 - Montadora com Mais Emplacamentos de Caminhões Elétricos no Brasil

ELÉTRICOS		2021	2022	2023
1	JAC	275	526	234
2	VW TRUCK E BUS	10	151	59
3	NANJING	-	-	18
4	VOLVO	-	-	8
5	FOTON	-	-	5
6	FNM	-	-	2
7	DONGFENG	-	-	2

Fonte: SENATRAN (2023)

De acordo com (EPE, 2023c), a implementação acelerada de veículos elétricos está se destacando entre os modelos de caminhões menores, impulsionada pelos pactos das empresas com a descarbonização e pelas restrições de circulação de caminhões em grandes cidades. Nos caminhões maiores, o peso das baterias dificulta e encarece a eletrificação, restringindo seu uso a distâncias mais curtas, por enquanto.

Para o transporte de passageiros no Brasil, onde uma parcela significativa de pessoas utiliza automóveis leves como meio de transporte individual, foi responsável por 43% das emissões de poluentes do setor de transportes, resultante da alta dependência dos combustíveis fósseis no segmento (Bartholomeu *et al.*,

2023). Segundo a (EPE, 2023c), o transporte individual aumentou rapidamente durante o início do século XXI devido a estabilização da moeda, o crescimento do PIB e o aumento da renda, que possibilitaram um incremento nas vendas de automóveis, reduzindo conseqüentemente a demanda por transporte público.

No âmbito da comercialização desses automóveis e de acordo a fontes da SENATRAN (2023), de 2021 até 2023, houve cerca de 4,8 milhões emplacamentos de automóveis em todo território nacional, sendo 1.720.833 apenas em 2023, um crescimento de 9,1% em relação ao ano de 2022, que teve 1.576.902 de unidades emplacadas. Quanto ao setor de veículos leves, existe um cenário diferente em comparação ao de caminhões, a eletrificação de veículos leves tem ganhado relevância no Brasil, sendo estimulada por incentivos estaduais e municipais, como a isenção de rodízio de carros, e descontos em impostos (EPE, 2023c).

A comercialização de veículos alternativos, como os exemplificados neste tópico continuam a se expandir rapidamente, em 2023 o mercado de veículos eletrificados cresceu cerca de 92% em comparação a 2022, sendo que a evolução do comércio de veículos elétricos em 2022 foi de 146%, enquanto a dos híbridos foi de 82%, consolidando a expectativa de crescimento desse segmento. Apenas em 2023, foram comercializadas cerca de 92.843 unidades de veículos elétricos e híbridos, o dobro em relação a 2022, que vendeu um pouco mais de 48 mil unidades. No Brasil, os veículos híbridos já respondem por mais de 3,2% da comercialização de novos veículos no país, reforçando que o mercado de automóveis elétricos e híbridos é inferior a 1% do total do varejo de veículos (SENATRAN, 2023).

Em 2023, o mercado de carros elétricos foi dominado pela montadora chinesa *Build Your Dreams* (BYD) tendo a primeira posição em emplacamentos, com 55,2%, em segunda posição tem-se a montadora sueca Volvo, com 14,3%. O ano de 2022 foi muito diferente em relação a 2023 para essas montadoras, onde a BYD teve apenas 212 emplacamentos no país inteiro e a montadora sueca liderou em números de emplacamentos com 2.355 emplacamentos. Devido aos seus modelos serem menos custosos em comparação a outras concorrentes, a BYD se tornou a nona montadora a emplacar mais carros no país, no ranking geral entre todas as marcas (BYD, 2024).

No dia 28 de junho de 2023, foi lançado o BYD Dolphin, veículo que fez as vendas da BYD dispararem em todo território nacional, com preço de R\$149.800,00, chegou a vender 226 unidades em um único dia. Em poucos meses se tornou o carro 100% elétrico mais vendido de todos os tempos no país e em 2024 foi reconhecido com o prêmio de “Carro do Ano 2024” pela AutoEsporte (BYD, 2024). Este carro foi tão bem recebido pelos consumidores brasileiros, que em fevereiro de 2024 a BYD lançou o BYD Dolphin Mini com um preço mais competitivo de R\$115.800,00, sendo considerado um automóvel revolucionário para o mercado brasileiro.

Há também o francês Renault Kwid E-tech, que baixou seu preço em 33% desde o ano de seu lançamento em 2022, que era de R\$142.900,00. Atualmente o Kwid E-Tech é o veículo elétrico mais barato do Brasil, custando R\$99.990,00. Segundo a QuatroRodas (2024), essa redução de preço é justamente pela entrada de montadoras chinesas como a BYD e a Jac Motors, que trouxeram competitividade para o mercado de veículos elétricos brasileiro.

Na categoria dos híbridos, a fabricante japonesa Toyota permanece liderando desde 2021, com cerca de 61 mil emplacamentos nos últimos 3 anos, sendo protagonista no mercado de híbridos com 28,3% em 2023. Em segundo lugar vem a CAO A Chery com 15,7% do mercado, onde emplacou quase 18 mil veículos híbridos nos últimos 3 anos (SENATRAN, 2023). Segundo a própria Toyota (2023), a empresa atingiu a marca histórica de 100 mil veículos híbridos vendidos no país, mostrando a potência dessa categoria, sendo mais de 21 mil unidades apenas neste ano, com os modelos Corolla e Corolla Cross representando 20 mil dessas vendas. A Toyota foi a primeira fabricante no Brasil a introduzir o primeiro veículo híbrido nacional, o Prius, que foi lançado em 2013. Também foi a primeira a lançar em 2019 o famoso sistema híbrido flex, que foi apresentado oficialmente no Corolla sedã. Atualmente, um em cada três veículos eletrificados em circulação no Brasil pertence às marcas Toyota e Lexus.

A Toyota também possui o primeiro carro com célula de combustível (FCEV) a hidrogênio comercializado no mundo, com uma autonomia de 650 quilômetros e 0 emissões de poluentes, o modelo de nome *Mirai* foi lançado no Japão em dezembro de 2014, chegando em sua segunda geração em 2020. O Mirai possui um sistema inovador aperfeiçoado pela Toyota chamado de Toyota *Fuel Cell System*

(TFCS), esse sistema foi desenvolvido para ser de baixo custo e com o objetivo de comercialização em massa (Yumiya *et al.*, 2015). No Brasil, o Mirai ainda não está disponível para venda, sua implementação no país seria muito interessante devido ao Brasil ser um grande produtor de etanol, combustível que pode ser utilizado para produção de hidrogênio. A Figura 11 mostra a estética desse veículo.

Figura 11 – Toyota Mirai



Fonte: QuatroRodas (2023)

Segundo a QuadroRodas (2023), a Toyota, em parceria com a Shell, a Universidade de São Paulo (USP) e outras empresas, está em busca do desenvolvimento do primeiro posto de hidrogênio no Brasil, localizado na Cidade Universitária da USP. Este projeto inovador, que envolve a Toyota, USP, Raízen, Hytron e o Senai CETIQT, visa estabelecer uma infraestrutura de postos de reforma de etanol para a produção de hidrogênio, ao invés de incorporar esse sistema diretamente em cada veículo individualmente. A iniciativa deste projeto busca superar essas limitações e contribuir para uma maior eficiência e sustentabilidade na produção e utilização de hidrogênio como fonte de energia.

A Nissan é a pioneira no que diz respeito a carros alternativos, sendo a primeira marca a fabricar um veículo movido a células a combustível de óxido sólido (SOFC) lançado em 2016, com um sistema chamado de Célula Combustível e-Bio (*e-Bio Fuel Cell*). Esse protótipo chamado e-NV200 utiliza a reforma do etanol para gerar hidrogênio através da catálise, para então produzir eletricidade. Esse automóvel com

suas baterias cheias (24 kWh) e abastecido com bioetanol no seu tanque de 30 litros, tem uma autonomia superior a 600 quilômetros com zero emissões (Barbosa, 2016; Felix, 2021; Gonçalves *et al.*, 2021; Nissan, 2016). A Figura 12 mostra a estética desse veículo.

Figura 12 – Protótipo Nissan e-NV200



Fonte: Nissan (2016)

Diferente dos híbridos onde existe mais distribuição no país, a oferta de veículos elétricos ainda é limitado, uma vez que o mercado para esses automóveis ainda está em fase de crescimento no Brasil. Além disso, os veículos elétricos híbridos não necessitam de eletropostos para recarga, o que os posiciona como a principal opção dentro do segmento de transportes elétricos no Brasil (Aguiar *et al.*, 2019). A implementação de veículos elétricos enfrenta obstáculos, incluindo os altos custos envolvidos, a ausência de uma indústria nacional robusta de baterias e componentes, e uma infraestrutura de recarga ainda precária em relação à rede de abastecimento de combustíveis fósseis. Esses desafios e distinções de redes de abastecimento precisam ser superados para que a tecnologia possa ser amplamente implementada e beneficiar a população e o meio ambiente de forma eficaz (EPE, 2023a).

2.3 Considerações sobre a Transição Energética no Brasil

O Brasil por conta do seu compromisso em diminuir as emissões de GEE a atmosfera busca acelerar a sua transição energética através de novas alternativas de energia renovável, tanto para sua produção de energia elétrica quanto para o uso de combustíveis esgotáveis e não-renováveis. Os seus setores industrial, agropecuário e de transportes ainda poluem muito pelo fato do grande uso dos combustíveis poluentes, principalmente o setor de transportes, devido ao Brasil ser dependente do transporte rodoviário para o deslocamento de insumos e mercadorias utilizando principalmente o óleo diesel, gerando uma urgência para ajudar a diminuir o uso desse tipo de energia.

A mobilidade elétrica entra como uma grande alternativa para melhorar a situação do país e sua dependência aos combustíveis fósseis, onde a eletrificação de caminhões e veículos de passeio (*PEVs* e *PHEVs*) estão cada vez mais acessíveis a sociedade, considerando a instalação gradativa de pontos de recarga (eletropostos). Há também os veículos a hidrogênio (*FCEVs*), o Brasil por ser um país com proeminência na geração de eletricidade por fontes renováveis, que são utilizados na produção de H_2 , é um bom candidato para a implementação desse tipo de veículo alternativo ao comércio, sendo que estes possuem mais autonomia de rodagem e não dispõem de tempo de abastecimento longo como os veículos elétricos.

O Brasil segue o caminho para a modernização e sustentabilidade dos seus setores, tentando amenizar os impactos ambientais devido ao uso excessivo de combustíveis esgotáveis e não-renováveis, investindo em políticas energéticas fundamentadas em melhorar a sua matriz eletroenergética e objetivando a eletrificação dos transportes rodoviários, abrindo o mercado de comercialização de automóveis alternativos para competir com os veículos tradicionais. Por fim, é preciso que haja sempre incentivo a instalação de redes de eletropostos, com pontos de recarga distribuídos estrategicamente para que se tenha competitividade dessa nova tecnologia em relação aos postos de combustíveis tradicionais.

3 INFRAESTRUTURA E ELETROPOSTOS

Segundo Aguiar *et al.* (2019), com o surgimento da indústria automobilística, iniciou-se uma competição entre os veículos elétricos e os veículos a combustão pelo domínio do mercado. Apesar dos múltiplos benefícios da mobilidade elétrica para a população e o meio ambiente, ela exerce um impacto sobre o interesse da indústria de petróleo, dos fabricantes de veículos tradicionais e dos produtores de componentes essenciais para os veículos a combustão (Novais, 2016). A influência persistente da indústria petrolífera no Brasil pode retardar a adoção de veículos elétricos (Arioli, 2016), porém, nos últimos anos os carros elétricos têm recuperado seu destaque por suas baixas emissões de poluentes e GEE. Segundo Chrispian *et al.* (2019), a motivação para a implementação de veículos elétricos seria justamente reduzir a utilização do petróleo e seus derivados, além de minimizar seus impactos ambientais.

De acordo com Erdemir e Dincer (2022), o carregamento dos veículos elétricos faz elevar de forma significativa a carga da rede elétrica, este aumento tende a piorar conforme o número desses veículos cresce globalmente. Um dos desafios principais para a expansão do uso desses veículos, tanto no transporte individual quanto no coletivo, é a necessidade crescente de infraestrutura energética para as estações de carregamento. Atender à demanda energética dessas estações representa uma questão crucial para garantir o desenvolvimento sustentável neste setor.

Com isso, o eletroposto é um pilar essencial para a boa aceitação dos automóveis eletrificados, sendo uma estrutura projetada para integrar veículos elétricos com a rede elétrica, facilitando seu carregamento e assegurando que a energia fornecida seja adequada e segura para o funcionamento dos sistemas elétricos do veículo. Segundo Barassa *et al.* (2022), os eletropostos desempenham um papel fundamental na infraestrutura de mobilidade elétrica, suportando a expansão da rede de recarga em ambientes urbanos e rurais, e contribuindo para a sustentabilidade ao promover a transição para fontes de energia mais limpas e eficientes.

Segundo dados divulgados pela EPBR (2024), até o final deste ano, o Brasil deve ter aproximadamente 7 mil estações de recarga para veículos elétricos, contra 41.000 postos de combustíveis existentes no país. Por mais que exista essa diferença notória, as redes de recarga nos últimos anos têm se expandindo gradativamente, impulsionando a introdução dos veículos elétricos no mercado e fazendo com que se diminua os receios dos consumidores brasileiros em relação ao abastecimento, pois o consumidor brasileiro demonstra crescente preferência por veículos elétricos modernos e sustentáveis (ABVE, 2024a).

De acordo com estudos de Moura *et al.* (2020) e Micena *et al.* (2020) sobre a implementação de eletropostos que abastecem veículos movidos a células combustível (FCEVs) em cidades brasileiras, os autores constaram que para que esse tipo de arquitetura de ponto de recarga tenha competitividade no país é necessário uma infraestrutura sustentável, além de obviamente depender do custo das células combustível.

Por fim, a Revista Analytica (2020), aponta que é justamente a infraestrutura de recarga o “gargalo”, onde deve-se implementar medidas que não apenas aumentem a competitividade dos veículos elétricos e os tornem mais acessíveis ao público, mas também promovam regulamentações que incentivem cada vez mais a expansão da infraestrutura de carregamento em todo o país.

3.1 Aspectos de infraestrutura

Os postos de combustíveis tradicionais são aqueles que possuem como principal produto os derivados do petróleo (gasolina e óleo diesel), onde ao decorrer dos anos foi se instalando novas fontes de energia inovadoras como os biocombustíveis. Um deles é o etanol, de acordo com Vidal (2020) o Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol apenas atrás dos Estados Unidos, quase toda a produção do país utiliza a cana-de-açúcar, porém nas últimas safras a utilização do milho para se obter etanol tem tido grande crescimento.

Existe o gás natural que também é de origem fóssil e segundo Selley (1998), o mesmo existe na natureza e normalmente é associado ao petróleo, porém

essa fonte energética é formada através de compostos químicos orgânicos e inorgânicos, juntamente com a combinação de hidrocarbonetos leves. O Brasil possui diversas oportunidades tanto para a produção quanto para o consumo de gás natural devido ao pré-sal (BNDES, 2021).

Tem-se o biodiesel, que de acordo com Julio *et al.* (2022) um dos principais aspectos da produção de biodiesel é sua menor emissão de carbono em relação aos combustíveis fósseis. Determina-se que o uso dessa fonte energética no setor de transportes pode evitar emissão anual de mais de 12,9 milhões de toneladas de CO₂ à atmosfera. Segundo Rodrigues (2021), a produção do mesmo no Brasil aumentou de forma expressiva, tendo um salto absurdo de fabricação em comparação aos anos anteriores, produzindo mais de 4 bilhões de litros em 2017. Esse crescimento é muito importante pra diminuir a dependência do país em relação aos combustíveis tradicionais, principalmente no setor de transportes de cargas, onde em sua maioria utiliza o diesel como fonte primária de energia (Zacharias *et al.*, 2023).

Normalmente veículos pesados de transporte de passageiros e cargas (caminhões) são os que mais utilizam o diesel como fonte de energia, podendo diminuir esse uso através do gás natural, tendo assim um grande potencial de demanda desse combustível (Barbosa e mais gente, 2024). Atualmente, os veículos de pequeno porte (passeio) de combustão interna utilizam dois combustíveis (gasolina e etanol) e são equipados com motores chamados *flex fuel*, onde conforme Santos (2021), seu objetivo é ajudar na diminuição de emissões de gases poluentes provenientes de automóveis que colaboram para a degradação atmosférica.

Com a criação de veículos alternativos (*PEVs*, *PHEVs* e *FCEVs*) visando a redução de emissões de GEE a atmosfera, foi inserido um novo tipo de “posto de abastecimento” para esses automóveis, são os chamados eletropostos. Esses pontos de recarga por sua vez possuem diversas opções, como o de instalação e o de recarga por exemplo. Abaixo é mostrado tipos de eletropostos para veículos eletrificados.

a) Tecnologia de carregamento com fio (*Wired*):

Este tipo de eletroposto consiste no carregamento por meio de um contato entre o veículo e o ponto de recarga. Há duas categorias principais de

carregamento para este tipo, que é o sistema de recarga em corrente alternada (CA) e sistema de recarga em corrente contínua (CC). O sistema de recarga CA fornece energia diretamente da rede elétrica para o automóvel, que então é convertida em CC por meio de um carregador próprio do veículo, conhecido como (*on-board charger*) (Saraswathi e Ramachandran, 2024).

Já, o sistema de recarga CC não demanda um carregador do próprio veículo, este tipo possui um carregador externo embutido que converte a corrente alternada (CA) da rede em corrente contínua (CC), fazendo com que o automóvel carregue instantaneamente (Saraswathi e Ramachandran, 2024).

b) Tecnologia de carregamento sem fio (*Wireless power transfer - WPT*):

Neste tipo de carregamento os veículos são carregados utilizando a transferência de energia por indução magnética, sem necessidade de contato entre o carro e o eletroposto. Para que o carregamento ocorra da melhor forma, é necessário que o veículo esteja estático, ou seja, estacionado ou parado em semáforos (Saraswathi e Ramachandran, 2024). Há também as faixas de carregamento, onde o veículo é carregado enquanto transita sobre a pista de rolamento, tendo como objetivo aumentar a autonomia de condução e reduzir o tamanho das baterias dos VEs.

c) Estações de Troca de Baterias (*Battery Swapping Stations*):

Este modelo foi proposto como um método alternativo para fornecer energia aos veículos elétricos, sendo um processo que até pode ser comparado ao abastecimento de um veículo de combustão interna num posto de combustível convencionais. O proprietário de um veículo alternativo pode se deslocar até uma estação de troca mais próxima e, em poucos minutos, substituir sua bateria antiga com baixo estado de carga por uma bateria totalmente recarregada (Wu, 2022).

Levando em consideração os carregamentos em corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC), há uma grande diferença do tempo de duração de recarga

entre eles. Os carregadores que utilizam a corrente alternada têm por sua característica uma recarga mais lenta, onde normalmente dura entre 6 a 8 horas para carregar completamente um veículo elétrico. Já, os carregadores em CC possuem uma característica de recarga mais rápida, onde geralmente o tempo de carregar um veículo elétrico é de mais ou menos 30 minutos. Os carregadores CA usualmente ficam instalados mais próximos de áreas residenciais ou de trabalho, já os carregadores CC são habitualmente utilizados em locais distantes, onde é necessário um tempo de recarga mais rápido (Acharige *et al.*, 2023), (Bahrami, 2020).

Existe também níveis de carregadores (1, 2 e 3), onde essa classificação está atrelada diretamente a sua potência nominal. Os carregadores de nível 1 (potências até 7,2 kW) oferecem uma quantidade de energia limitada a bateria do automóvel, fazendo com que o seu tempo de recarga seja muito mais longo, devido à baixa potência tanto do eletroposto, quanto do carregador AC dentro do veículo que geralmente é de 6 kW o que limita também o tempo de recarga (em torno de 8 a 12h). Os carregadores de nível 2 (potências entre 7,2 kW e 22 kW), oferecem uma quantidade de energia limitada, mas com uma quantidade cerca de 3 vezes maior que os modelos residenciais. O tempo de recarga pode ser reduzido pela metade, em relação ao carregamento residencial (em torno de 2h a 4h). Por fim, os carregadores de nível 3 (50 kW até 350 kW) faz com que o tempo de carregamento seja muito mais rápida, devido a sua maior potência nominal. Além da potência do carregador ser essencial para uma melhor recarga, o modelo do veículo, a sua capacidade da bateria e os conectores utilizados para o carregamento também influenciam no tempo necessário para a recarga (Costa, 2024).

Os eletropostos possuem diversas opções de como podem ser integrados a rede de energia elétrica, seja conectar diretamente a rede de distribuição (*on-grid*), utilizando suprimento de eletricidade de origem renovável (solar fotovoltaica, eólioelétrica) podendo ser conectados à rede da concessionária ou não ser conectado (*off-grid*). Também existe o conceito do veículo elétrico ser utilizado como fonte de eletricidade, seja para alimentar uma residência, carregar outro veículo elétrico ou até injetar energia elétrica para rede de distribuição. Abaixo é mostrado mais afundo as diversas opções existentes de conexão.

a) Conexão on-grid e suas combinações:

A conexão *on-grid* nada mais é que um eletroposto que se alimenta da rede da concessionária e fornece essa mesma energia, podendo ser combinado com fontes renováveis (solar fotovoltaica, eólicoelétrica) ou com armazenamento em baterias, conhecida como *BESS* (*battery energy storage system*).

Para combinações com fontes renováveis em locais onde já possui energia elétrica, a solar fotovoltaica, pode ser chamada de uma fonte complementar ao sistema elétrico, onde a energia é gerada pelos painéis e a própria rede elétrica se torna uma bateria que recebe toda energia sobressalente gerado pelo sistema (Alves, 2019), acontecendo o mesmo para os integrados com eólicoelétrica. Existe também a possibilidade de um eletroposto utilizar essas duas fontes como fonte renovável de energia, onde esse ponto de recarga utiliza um sistema híbrido solar-eólico, que de acordo com Singh *et al.* (2021) a combinação dessas duas fontes tem grandes complicações devido suas intermitências naturais. Porém, conforme estudos de Babrekar *et al.* (2017) onde foi desenvolvido um sistema híbrido solar-eólico, foi concluído que o agrupamento dessas fontes renováveis pode ajudar a reduzir flutuações e complexidade de energia elétrica.

Já para as combinações junto ao armazenamento em bateria (*BESS*), que segundo Xiangjun e Shangxing (2021) apesar de possuir um alto custo, traz diversos benefícios a rede, participando diretamente na regulação de frequência e, quando instalado ao lado da geração, pode atuar como uma entidade independente no controle da frequência da rede sem depender de fontes de energia convencionais ou renováveis. Além disso, a combinação de um *BESS* com fontes sustentáveis pode ajudar na variabilidade desses recursos, criando uma estabilidade e atendendo aos diversos requisitos técnicos de conexão à rede.

b) Conexão veículo-para-residência (V2H), veículo-para-veículo (V2V) e veículo-para-rede (V2G):

Neste modelo de conexão os veículos elétricos não atuam apenas como meios de transporte que necessitam de carregamento, mas também como cargas controláveis e fontes de energia distribuída para a rede elétrica. Assim, os chamados *Grid-Enabled Electric Vehicles* (*GEVs*), podem desempenhar positivamente na rede elétrica em geral durante os seus períodos de carregamento ou descarregamento. Em complemento, por utilizarem carregador bidirecional com capacitor, a energia disponibilizada pelos *GEVs* pode ser injetada a rede na forma de potência reativa, ajudando na manutenção do sistema elétrico (Liu *et*

al., 2013). Esse sistema conta também com um inversor bidirecional, que de acordo com Carvalho (2023), são dispositivos que transformam energia e permitem que a potência flua em ambas as direções entre a rede elétrica e o sistema de armazenamento de energia.

Por fim, tem-se as conexões *off-grid*, que segundo Eze *et al.* (2021), pode ser composta junto a diversas fontes renováveis como solar fotovoltaica, eólioelétrica e biogás de forma não combinada, lembrando que a conexão *off-grid* também evita desperdícios de energia que existem nas conexões *on-grid*. Além disso, os autores também citam que esse tipo de conexão junto a energias renováveis pode certamente atender a demanda solicitada, desde que toda as funcionalidades e infraestruturas necessárias estejam cautelosamente no padrão essencial. Inclusive comentam que esse tipo de conexão *off-grid* em eletropostos para veículos elétricos e híbridos estão entre os melhores e mais econômicos a serem adotados, tendo em vista que previne a escassez de energia da rede elétrica e reduz o custo de recarga.

De acordo com Mehrjerdi (2019), o hidrogênio (H_2) que também é uma das novas e promissoras formas de energia que pode ser utilizada de maneira eficiente em redes elétricas, residências e veículos. Os eletropostos *off-grid* pode ser combinados com esse recurso para o abastecimento de veículos a célula combustível (FCEVs) ou até armazenamento de energia.

3.2 Eletropostos *off-grid*

Os eletropostos *off-grid* quando aliados a recursos energéticos não-esgotáveis e renováveis de energia como sistemas fotovoltaicos e eólicos, utilizam inversores *off-grid* para armazenar energia em bancos de baterias e, posteriormente, convertem essa energia armazenada em corrente alternada, podendo dessa forma abastecer diretamente os veículos elétricos no qual atendem. Essa abordagem permite a operação desses pontos de recarga independentemente da situação da rede elétrica tradicional no qual eletropostos convencionais usam, onde necessitam de aprimoramento de infraestrutura de transmissão e distribuição para atender à demanda de abastecimento (Lima, 2023). A Figura 13 apresenta um diagrama elétrico de um eletroposto combinado com solar fotovoltaica (podendo ser qualquer outro tipo

de recurso energético renovável) e armazenamento em banco de baterias, obtendo assim um *Energy Storage System* (ESS). Essa combinação com baterias atua como uma ajuda devido a intermitência dessas fontes renováveis.

Figura 13 – Diagrama Elétrico Eletroposto Fotovoltaico *Off-grid*



Fonte: BMC (2017)

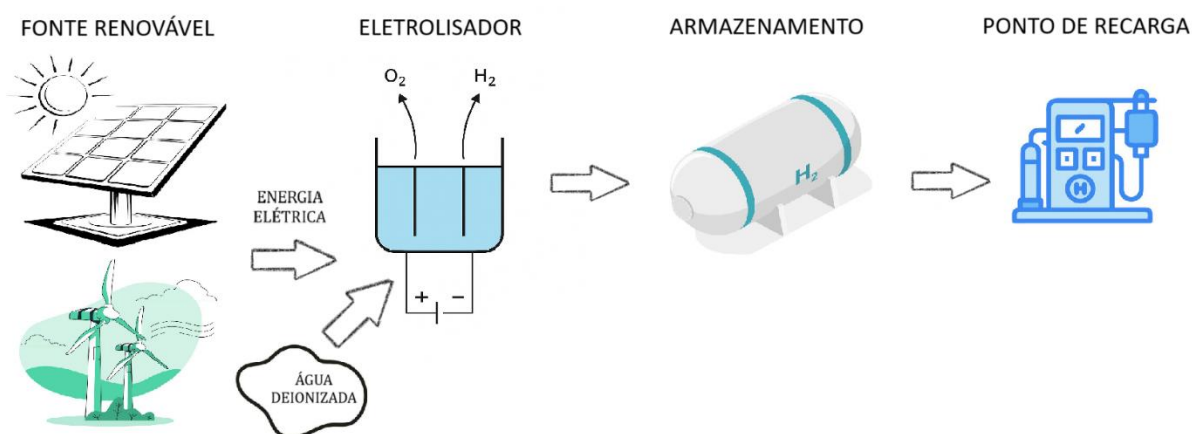
Já o processo inverso, ou seja, a geração do hidrogênio é feita através de eletrolisadores. Há diversos tipos de eletrolisadores, como os alcalinos, de membrana de troca de prótons (*PEM*) e de óxido sólido, que fazem o processo de eletrólise água para produzir hidrogênio. Esse hidrogênio pode ser armazenado em tanques específicos e esse sistema apresenta uma vida útil longa e é ambientalmente seguro, seu único problema é o alto custo (Rituraj *et al.*, 2022).

Existe também o hidrogênio verde, que é aquele produzido por meio da eletrólise a partir de recursos energéticos não-esgotáveis e renováveis como solar fotovoltaica e eólicoelétrica, sendo um combustível altamente sustentável, caracterizado pela ausência de emissões diretas de GEE devido sua queima gerar apenas água. Este tipo de hidrogênio pode ser utilizado eficientemente para abastecer

veículos equipados com células de combustível (*FCEVs*) (Oliveira, 2023), e que usam exclusivamente esse tipo de eletroposto *off-grid*.

Além da obtenção de hidrogênio verde a partir da eletrólise, pode-se produzir hidrogênio com o etanol. O etanol é feito a partir do plantio da cana-de-açúcar e do milho, neste sentido, pode ser produzido a partir de diversas fontes de biomassas e diferentes tecnologias de conversão. O Brasil é reconhecido por ser um dos maiores produtores de etanol do mundo, pois em 1975, o governo brasileiro lançou o Programa Nacional de Álcool (Proálcool) onde o objetivo era incentivar a utilização desse combustível nos automóveis (Magri, 2022). Com isso, o Brasil possui uma logística eficiente, o favorecendo como um forte candidato à produção de hidrogênio verde, pois tem um extenso território favorecendo o cultivo da matéria prima utilizada na produção de etanol, que posteriormente é empregado no processo de reforma para a produção de hidrogênio (João *et al.*, 2023). A Figura 14 mostra um diagrama funcional de um eletroposto que utiliza o hidrogênio verde como um recurso energético, sendo um ótimo armazenador de energia (Lara e Richter, 2023) e pode ser combinado com bancos de baterias (*BESS*) para estocar energia elétrica.

Figura 14 – Diagrama Elétrico Eletroposto *Off-grid* de Hidrogênio Verde



Fonte: Elaboração do autor (2025)

3.3 Considerações sobre a Infraestrutura e Eletropostos

A infraestrutura de postos convencionais no Brasil é consolidada em todo o território nacional, com postos bem localizados e de fácil acesso a todos habitantes. A disputa entre os postos de recarga sustentáveis e os tradicionais é acirrada, tendo em vista que a indústria petrolífera no Brasil é forte e bem estruturada, com bons investimentos e fácil transporte desse insumo energético para todas as regiões do país. Para que os veículos eletrificados (possuem menor autonomia) consigam concorrer com os automóveis tradicionais (possuem maior autonomia), é necessária uma rede de recarga útil e bem desenvolvida, para que ajude o cidadão brasileiro a não ficar receoso ao adquirir esses veículos alternativos não poluentes.

Com a inserção de veículos alternativos na sociedade (*PEVs* e *PHEVs*), foi necessário criar um “posto de combustível” para esses tipos de automóveis, que utilizam em sua grande maioria a energia elétrica como recurso energético. Dessa forma, os eletropostos surgiram de forma promissora, considerando que há diversos tipos desses pontos de recarga e que há inúmeras formas geração e de distribuição de energia elétrica para esses automóveis.

O primeiro exemplo de eletroposto que existe é o mais convencional, aquele conectado à rede da concessionária (*on-grid*), utilizando essa energia para “abastecer” os veículos elétricos, porém, pode causar distúrbios na rede em horários de pico, por exemplo. O segundo modelo é o eletroposto que utiliza de fontes renováveis para a produção de energia elétrica, chamados *off-grid*. Esse eletroposto tem um grande atrativo, que é o fato de não precisar utilizar a rede elétrica da concessionária, fazendo com que não sobrecarregue a mesma e podendo usufruir do poder solar ou do vento para abastecer os automóveis alternativos e, quando há energia excedente, pode ser utilizado o *BESS* (*battery energy storage system*) para a estocagem da energia elétrica gerada.

Dentre as arquiteturas de eletropostos, tem-se os eletropostos *off-grid* de hidrogênio, que utilizam as fontes renováveis (solar fotovoltaica, eólioelétrica) junto a um eletrolisador para separar as moléculas da água (H_2O) para obter hidrogênio de forma limpa, esta rota tecnológica é chamada de hidrogênio verde. O hidrogênio é

uma grande fonte de energia e de armazenamento de energia também, tendo em abundância no planeta e quando há sua combustão, libera apenas água, eliminando os problemas de emissão de GEE por parte dos combustíveis fósseis. Segundo Lara e Richter (2023), o hidrogênio verde poderia representar cerca de um quarto do mercado energético mundial até 2050, executando um papel cada vez mais importante principalmente no setor econômico de transportes. Portanto, esse recurso energético atrelado a sua produção por meio de eletropostos *off-grid*, pode fazer com que o setor de transportes tenha um rumo diferente, sendo mais sustentável, limpo e sem prejudicar o meio ambiente.

4 ANÁLISE TÉCNICA DE MERCADO E ESTUDO DE CASO

Para uma análise técnica de mercado com o objetivo de implantação de um eletroposto *off-grid* híbrido de hidrogênio, é necessário que se restrinja um determinado local, portanto será explorado o município de Florianópolis capital do estado de Santa Catarina.

O estado de Santa Catarina (SC) se destaca sobre a venda de veículos elétricos, do ano de 2022 a meados de 2025 há cerca de 26632 veículos eletrificados circulando no estado catarinense. No primeiro semestre de 2025 foi registrado 5679 novos emplacamentos, com 1120 apenas em Florianópolis, ocupando o 13º lugar em relação aos municípios com mais vendas desse tipo de veículo no país (ABVE, 2025a). Em relação aos pontos de recarga dos veículos elétricos, Santa Catarina também se destaca, estando na 7ª posição em relação aos demais estados do país, com 220 eletropostos espalhados por toda a região (ABVE, 2025b).

Além disso, a capital do estado é uma das poucas banhadas por mares, sendo localizada em ilha. Por estar situada na região Sul do Brasil, o clima úmido contribui para inúmeros dias de chuvas ao longo do ano, onde, segundo um dos meios de comunicação da região, choveu em torno de 134 dias apenas no ano de 2024 (Campos, 2024). Nesse sentido, a possibilidade para a implantação de um eletroposto que possa ofertar hidrogênio e eletricidade como seu produto final nessa localidade é válido, tendo em vista que há abundância de água nessa região (necessário para produção de hidrogênio), podendo ser utilizado do mar ou das precipitações.

O local selecionado foi o bolsão da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) situado na Avenida Beira Mar Norte, detendo um espaço amplo com uma boa infraestrutura e ambiente aberto, contando com boa irradiação solar para geração fotovoltaica, vento para geração eólica e acima de tudo próximo ao mar. Esse bolsão possui uma estrutura chamada Unidade de Recuperação Ambiental (URA), a URA é uma estação de tratamento que capta através de bombeamento os canais de drenagem que carregam esgotos e águas das redes pluviais, as purificando antes de atingirem ao mar, protegendo a balneabilidade nessa região (CASAN, 2018). A Figura 15 e 16 detalham um pouco desse espaço.

Figura 15 – Vista Panorâmica Bolsão CASAN



Fonte: Yago Henrique (2025)

Figura 16 – Entrada do Bolsão CASAN



Fonte: Google Maps (2024)

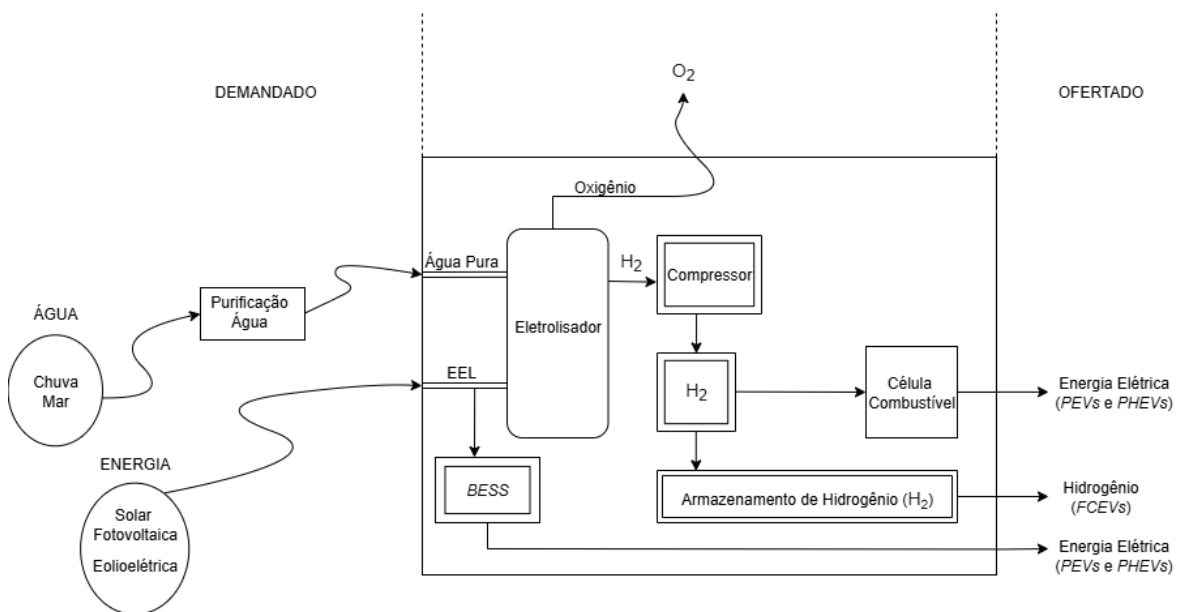
Este ponto de carregamento terá como fonte de energia elétrica a geração proveniente de energia solar fotovoltaica ou eólicoelétrica, integrada com sistemas de

captação de água da chuva e da água do mar, com a purificação dessa água para produção de hidrogênio verde visando seu armazenamento e sua utilização. O sistema iria operar em dois ciclos funcionais:

- primeiro ciclo: produzir hidrogênio a partir da eletrólise da água (captada da chuva/mar e purificada através da osmose reversa) com o auxílio da energia elétrica proveniente de sistemas fotovoltaicos ou eólicos, possibilitando assim o abastecimento de veículos a célula combustível (*FCEVs*);
- segundo ciclo: armazenar a energia excedente da eletrólise em baterias (*BESS*) para o possível carregamento de veículos híbridos *plug-ins* (*PHEVs*) e elétricos *plug-ins* (*PEVs*) junto as células a combustível embutidas ao eletroposto, que são alimentadas pelo próprio H_2 produzido. Além do *BESS*, é possível também aproveitar a força de armazenamento do H_2 para estocar a energia gerada.

A Figura 17 mostra um diagrama esquemático de atuação do eletroposto junto ao que é demandado por ele e o que é ofertado em seu conjunto. Posteriormente, será realizado uma análise de equipamentos que são necessários para o funcionamento e para viabilidade técnica de um ponto de recarga desse modelo, apresentando-os na forma de subsistemas e elucidando suas operações individualmente.

Figura 17 - Diagrama Esquemático Eletroposto *Off-Grid* de Hidrogênio



Fonte: Elaboração do autor (2025)

4.1 Sistema de Captação e Purificação da Água

Para esse eletroposto será possível utilizar água de dois sistemas para se produzir hidrogênio (H_2), da água da chuva (pluvial) e da água do mar. O sistema de captação de água pluvial é um equipamento que acoplado a uma cisterna pode armazenar litros de água, que junto a filtros impedem a entrada de folhas, gravetos e moléculas de sujeira, fazendo com que esse equipamento tenha água limpa para diversas utilidades, e uma delas pode ser para a obtenção de H_2 (com os devidos tratamentos). De acordo com Oliveira e Pereira (2023), existem várias técnicas de aproveitamento de águas da chuva em uso pelos diferentes estados do Brasil, cada uma demonstrando resultados positivos em suas respectivas aplicações, destacando-se os sistemas de fluxos totais que consiste em captar toda a água da chuva que incide sobre uma superfície específica e a direcionam para armazenamento ou uso imediato. A Figura 18 e 19 apresentam respectivamente um modelo de coletor de água da chuva e um modelo de cisterna disponíveis no mercado brasileiro, com fácil instalação e integração com o filtro coletor segundo o fabricante, possuindo também um formato compactado e modular, fazendo com que tenha um armazenamento estendido e não utilize muito espaço.

Figura 18 – Kit Coletor de Água da Chuva VF1



Fonte: EcoSoli (2025)

Figura 19 – Cisterna Vertical Modular (1000 litros)



Fonte: Eco Sustentável (2025)

Para o aproveitamento da água do mar da região será realizado a técnica de dessalinização, de acordo com Vaz (2015), a dessalinização é um recurso de remoção de sais dissolvidos na água em concentrações que promovem sua utilidade tanto para consumo humano quanto para outras atividades. Um dos dessalinizadores mais comuns no Brasil é a osmose reversa, que conforme o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), há membranas semipermeáveis que atuam como um filtro que é capaz de retirar da água salobra ou salina, a quantidade de sais que são impróprios para consumo humano (MIDR, 2021). Esse processo de osmose reversa também deve ser feito com a água captada da chuva, pois é necessário água microbiologicamente pura para a produção de H_2 . A Figura 20 apresenta um aparelho de osmose reversa que se encontra comercializado no mercado brasileiro, com um rendimento de 70 litros de água pura por hora.

Figura 20 – Aparelho de Osmose Reversa



Fonte: SPMedica.com (2025)

4.2 Geração de Energia Elétrica (Solar Fotovoltaica e Eólicoelétrica)

Com o objetivo de se produzir hidrogênio de forma limpa e verde, precisa-se de corrente elétrica para a quebra da molécula de água no eletrolisador. A geração de energia elétrica poderá realizada através de duas opções de fontes renováveis, a solar fotovoltaica aproveitando a irradiação solar e a eólicoelétrica com aproveitando da força dos ventos. Para isso, essas duas fontes energéticas necessitam de um conjunto de equipamentos para que realize sua geração plenamente.

Começando pela geração solar, um dos acessórios mais importantes para esse tipo de geração são os módulos fotovoltaicos, esse dispositivo tem como base o efeito fotovoltaico que ocorre a partir de materiais chamados semicondutores, com bandas de energia composta por elétrons. O material semicondutor mais utilizado nesses dispositivos é o silício (Si) (Silva e Araújo, 2022). A Figura 21 apresenta um módulo solar fotovoltaico que é comercializado no mercado brasileiro, onde segundo

o fabricante possui potência de 700W, com 132 células de silício monocristalino e pode gerar até 2880 Wh/dia.

Figura 21 – Placa solar fotovoltaica DAH 700W (DHJ-66Y18-DG)



Fonte: NeoSolar (2025)

Integrado ao módulo fotovoltaico existe o inversor, considerado um equipamento essencial, possui como função transformar a corrente contínua (gerada) em corrente alternada, comumente utilizada em residências, aparelhos eletrônicos e etc (Silva e Lima, 2023). Além de realizar essa transformação, o inversor é responsável pelo monitoramento e otimização da energia gerada, juntamente com a supervisão da segurança do sistema (Pinho e Galdino, 2014). No caso do eletroposto, para veículos eletrificados é necessário a corrente alternada para recarga e, para eletrolise da água juntamente com o armazenamento da energia excedente em baterias (*BESS*), precisa-se de corrente contínua. A Figura 22 mostra um inversor que se encontra disponível no mercado brasileiro, com uma potência de até 7,4 kW (32 A), juntamente com um carregador específico para carros elétricos, com tipo de carregamento modo 3 e nível 2, ambos da marca Growatt.

Figura 22 – Kit inversor + carregador de veículo elétrico



Fonte: Movibio Energia Solar (2025)

A geração eólioelétrica é o aproveitamento da energia cinética proveniente do deslocamento das massas de ar transformada em energia elétrica através de turbinas eólicas. Essas turbinas eólicas que também podem ser chamados de aerogeradores, são constituídos por uma torre combinado a um agrupamento de pás conectados ao rotor e uma nacelle, onde ficam os demais dispositivos. O nacelle é uma estrutura onde se localizam o multiplicador de velocidades (engrenagens que aumentam a velocidade entre o eixo e o gerador) e o próprio gerador de energia elétrica (Lima, 2017). A energia excedente igual a solar fotovoltaica, também poderá ser armazenada em *BESS* para estocagem e melhor aproveitamento da mesma. A Figura 23 apresenta um aerogerador da marca Tesup disponível no mercado brasileiro, capaz de gerar até 10 kW de potência e fornecer uma geração diária de aproximadamente 240 kWh.

Figura 23 – Gerador de turbina eólica horizontal Magnum



Fonte: Tesup (2025)

Por fim, apesar do hidrogênio ser um grande armazenador de energia, é necessário um sistema de bancos de baterias para ajudar na estocagem desse recurso. Essa energia armazenada nos bancos de baterias também pode ajudar a recarregar veículos elétricos plug-in (*PEVs*) e híbridos plug-in (*PHEVs*). Na Figura 24 é apresentado um sistema de *BESS* da marca Energia Portátil, com capacidade de 90 kWh, potência de saída de 7,2 kW e carregamento super rápido, podendo carregar duas de suas cinco baterias de 6000 Wh em apenas duas horas. Seu tamanho compacto também chama atenção, sendo capaz de se encaixar em pequenos espaços.

Figura 24 – Central Deltra Pro ULTRA 7200W EcoFlow



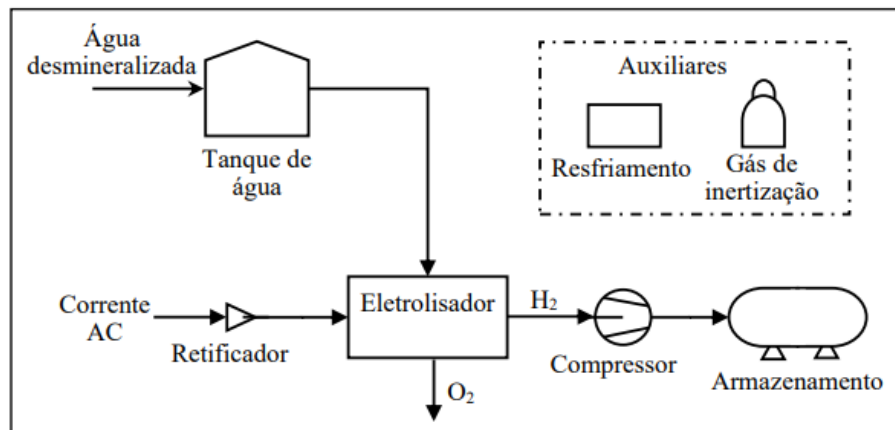
Fonte: Energia Portátil (2025)

4.3 Eletrolisadores

Após o processo geração de energia dos sistemas de geração fotovoltaica/eólica integrada ao eletroposto e a purificação da água, esses dois produtos chegam no eletrolisador. O objetivo do eletrolisador é justamente fazer a quebra molécula da água (H_2O) coletada dos sistemas de captação, onde segundo Gomes (2022), realiza uma reação química de oxirredução provocada pela passagem da corrente elétrica, fazendo com que se tenha dois constituintes, o hidrogênio (H_2) e oxigênio (O_2).

Há três tipos de eletrolisadores que podem ser utilizados no eletroposto proposto, o eletrolisador de membrana polimérica (*PEM*), o eletrolisador de óxido sólido (*SOE*) e o eletrolisador alcalino. Apesar de o eletrolisador (*PEM*) ter melhor rendimento, seu custo elevado faz com que não seja tão utilizado em produção de grande escala, promovendo o eletrolisador alcalino (Ivy, 2004) (Ursúa; Gandía; Sanchis, 2012). A Figura 25 mostra um diagrama de fluxo do processo de eletrólise.

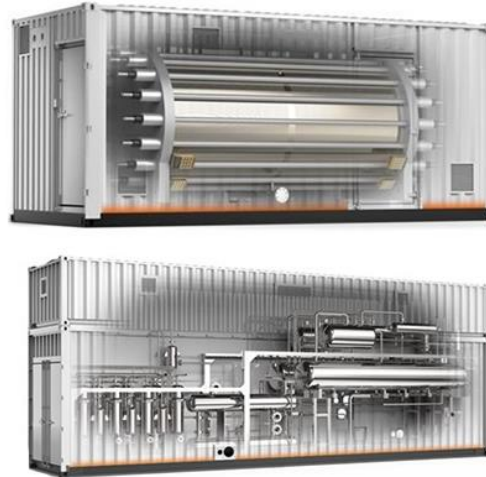
Figura 25 – Diagrama de fluxo eletrólise



Fonte: Diaz e Lamas (2023)

O eletrolisador alcalino trabalha numa temperatura inferior a 80°C e funciona a partir de dois eletrólitos compostos por uma solução aquosa de hidróxido de potássio (KOH) ou hidróxido de sódio (NaOH), sendo separados por um diafragma no qual ocorrem a passagem de íons e onde realizam as reduções eletroquímicas através da solução aquosa (ânodo e cátodo) para se obter H₂ (Souto e Nogueira, 2021). A Figura 26 apresenta um eletrolisador alcalino comercializado pela empresa *Auyan* localizada em Qingdao, na China. Esse eletrolisador consome cerca de 900 L/h de água química (pura) e sua produção de hidrogênio é de 0-1000 Nm³/h, com 99,98% de pureza de H₂ na saída da célula.

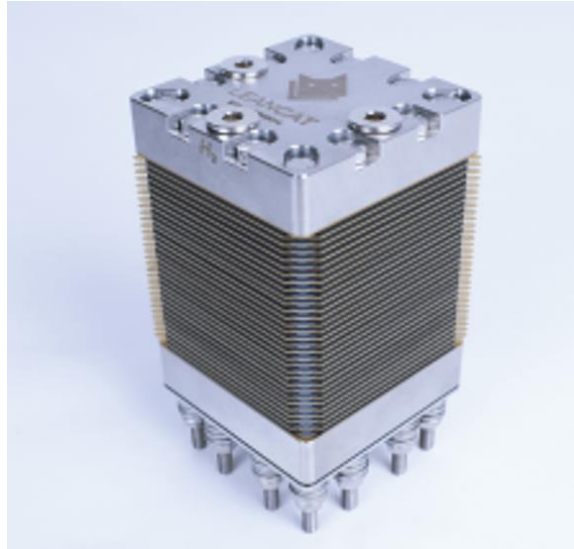
Figura 26 – Eletrolisador alcalino *Auyan* (AOQING_1000A)



Fonte: Auyan (2025)

O eletrolisador (*PEM*) trabalha numa temperatura inferior a 80°C e consiste numa membrana polimérica que permite a passagem de prótons, realizando através de reações eletroquímicas a quebra da molécula da água, deixando o oxigênio (O₂) no ânodo e o hidrogênio no cátodo (Souto e Nogueira, 2021). Figura 27 apresenta um eletrolisador (*PEM*) comercializado pela *Fuel Cell Store* do Texas, nos Estados Unidos. Esse eletrolisador consome entre 0.2 - 0.9 L/h de água pura, com uma produção de gás hidrogênio de 630 NL/h e uma pureza de 99,99% após o estágio de secagem.

Figura 27 – Eletrolisador PEM (LCWE-25-30)



Fonte: Fuel Cell Store (2025)

O eletrolisador de óxido sólido (*SOE*) trabalha em pressões baixas e em temperaturas elevadas (entre 650°C e 800°C), produzindo hidrogênio (H_2) a partir do transporte de oxigênio (O_2) através de uma membrana, compreendendo a união da água aos elétrons do cátodo, que originalmente eram do ânodo (Bezerra, 2025). Esse eletrolisador possui uma alta eficiência para se produzir hidrogênio ultra puro (Souto e Nogueira). A Figura 28 apresenta um eletrolisador (*SOE*) comercializado pela Elcogen, empresa presente na Estônia, Finlândia e Reino Unido. Esse eletrolisador é organizado em pilhas (*stacks*) e opera numa temperatura entre $650 - 700^{\circ}\text{C}$, necessitando de uma potência de $3,2 \text{ kWh/Nm}^3$ e possuindo uma taxa de produção de hidrogênio de $3 \text{ Nm}^3/\text{h}$.

Figura 28 – Eletrolisador de óxido sólido (E3000)



Fonte: Elcogen (2025)

4.4 Compressores e Armazenamento de Hidrogênio (H₂)

Para que seja possível o armazenamento do hidrogênio produzido pelo eletrolisador, é necessário comprimi-lo através de um compressor. Atualmente há diversas tecnologias que sendo desenvolvidas para encontrar a melhor eficiência com menor custo para a compressão e armazenamento de hidrogênio (H₂). Apesar de o hidrogênio ser um excelente armazenador de energia por quilograma, sua densidade energética volumétrica é muito menor do que a densidade de líquidos baseados em carbono, necessitando assim de uma compressão competente (Dornheim *et al.*, 2022).

Atualmente as alternativas para a compressão de H₂ incluem compressores de líquido iônico, compressores de hidreto metálico (HM) e compressores eletroquímicos (Dornheim *et al.*, 2022). Esses compressores serão detalhados a seguir.

a) Compressores de Líquido Iônico (*Ionic Liquid Compressors*):

Os compressores de líquido iônico operam com os mesmos princípios de funcionamento empregados em compressores convencionais, sua diferença é que no lugar de pistões sólidos é utilizado o uso de líquidos iônicos (Dornheim *et al.*, 2022).

b) Compressores de hidreto metálico (*MH Compressors*):

Os compressores de hidreto metálico (HM), operam com uma interação reversível acionada por calor entre um metal composto por hidreto e uma liga metálica composta de hidrogênio, formando o hidreto metálico (HM) e oferecendo uma alternativa atraente à compressão convencional. As vantagens desse tipo de compressor é o seu design compacto com ausência de partes móveis, tendo mais segurança e confiabilidade (Dornheim *et al.*, 2022).

c) Compressores Eletroquímicos (*Electrochemical Hydrogen Compression*):

Seu mecanismo fornece o hidrogênio a superfície da membrana com um catalisador de liga de platina, que divide a molécula em prótons. Os elétrons são transmitidos através de um circuito externo para a camada oposta do catalisador, no outro lado da membrana. Por fim, uma corrente elétrica é utilizada para forçar os prótons a atravessarem a membrana e se combinarem novamente, induzindo simultaneamente o transporte de massa de hidrogênio e sua purificação (Dornheim *et al.*, 2022).

A Figura 29 apresenta um compressor de H₂ da empresa *Atlas Copco Group*, empresa presente no Brasil. Montado em container, esse compressor de alta pressão tem uma entrada de 5 bar, descarga máxima de 1000 bar e capacidade de até 500 Nm³/h, garantindo um hidrogênio comprimido 100% isento de impurezas.

Figura 29 – Compressor de hidrogênio Atlas Copco



Fonte: Atlas Copco Group (2025)

Segundo Oliveira (2023), devido o hidrogênio possuir baixa densidade energética por unidade de volume, torna-se essencial encontrar métodos que não apenas sejam eficientes em termos de armazenamento, mas também seguros e economicamente viáveis. De acordo com Nikolai e Poullikkas (2017), a forma mais comum de armazenar hidrogênio é na sua forma gasosa em tanques pressurizados de até 770 MPa. O armazenamento gasoso é o método mais utilizado em aplicações veiculares, enquanto o armazenamento líquido pode ser mais vantajoso para implementações em larga escala (Oliveira, 2023).

Essas formas de estocagem de H_2 enfrentam desafios significativos relacionados ao volume ocupado e à eficiência de armazenamento, sendo importante salientar que o hidrogênio gasoso ocupa 3.000 vezes mais espaço do que um gás com o mesmo conteúdo energético nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) (Oliveira, 2023). Conforme Amaral (2021), sob uma pressão de 800 bar, o volume do hidrogênio é três vezes maior que o da gasolina para o mesmo valor de

energia. Com isso, os sistemas que trabalham para armazenar H_2 operam em baixas temperaturas ($-253\text{ }^\circ\text{C}$) e em grandes pressões (Vargas *et al.*, 2006).

A Figura 30 apresenta um modelo de cilindro de alta pressão para armazenamento de hidrogênio, da fabricante nacional Gifel – Engenharia de Incêndio. Esse cilindro conta com uma capacidade de 50 litros (10m^3), uma pressão de trabalho de 200 bar e está na cor amarela, padrão da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Possui 146 centímetros de altura, 23 centímetros de diâmetro e um peso de 57,2 quilos.

Figura 30 – Cilindro da Alta Pressão (Gifel)



Fonte: Gifel – Engenharia de Incêndio (2025)

4.5 Células Combustível

Apesar de a arquitetura do eletroposto ser integrado a um banco de baterias (*BESS*) para o armazenamento da energia excedente proveniente das gerações de energia renováveis, pode-se também utilizar o próprio hidrogênio (H_2) produzido para gerar energia elétrica, fazendo com que seja possível aproveitar o máximo desse recurso energético para abastecer tanto veículos a célula a combustível (*FCEVs*), quanto para recarregar veículos elétricos *plug-ins* (*PEVs*). As

células a combustível são elementos que, quando supridos com hidrogênio, têm a capacidade de produzir eletricidade. (Rifkin, 2003). Todas as *fuel cells* tem como princípio a reação do combustível no ânodo, juntamente com a reação de oxigênio no cátodo, através de um sistema eletroquímico de produz eletricidade e calor (Ferriday e Middleton, 2021). As células a combustível são diferentes da maioria das baterias, necessitando de uma fonte contínua de energia contínua (oxigênio) para manter suas reações químicas, enquanto nas baterias a energia provém de metais e seus íons/óxidos, já presentes na própria bateria (Jain; Jain, 2021).

Existem diversos tipos de células a combustível, as de metanol direto (*Direct Methanol Fuel Cells – DMFCs*), as de carbonato fundido (*Molten Carbonate Fuel Cells – MCFCs*), as de óxido sólido (*Solid Oxide Fuel Cells – SOFC*) e as de membrana de troca de prótons (*Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells – PEMFC*) considerados células combustíveis reversíveis (*Reversible Fuel Cells – RFC*), as alcalinas (*Alkaline Fuel Cells – AFC*), e por último as de ácido fosfórico (*Phosphoric Acid Fuel Cells – PAFC*) (Jain; Jain, 2021). Esses tipos de células combustíveis serão detalhadas a seguir.

a) *Direct Methanol Fuel Cells – DMFCs*:

Nas células a combustível de metanol direto, o ânodo e o cátodo são essenciais para que ocorra as reações eletroquímicas que produzem eletricidade. O metanol é utilizado como combustível e oxidado pelo catalisador do ânodo na presença de água, gerando como subprodutos prótons, elétrons e dióxido de carbono (CO_2). No cátodo ocorre a redução do oxigênio, resultando na formação de água (H_2O) (Madaswamy *et al.*, 2021).

b) *Molten Carbonate Fuel Cells – MCFCs*:

As células a combustível de carbonato fundido consistem na geração de eletricidade utilizando carbonato fundido como eletrólito, especialmente carbonatos de lítio-sódio (Li-Na) e lítio-potássio (Li-K), suspensos numa matriz de cerâmica quimicamente inerte chamada *Beta-Alumina Solid Electrolyte (BASE)*. A *BASE* permite que aconteça o transporte de íons carbonato, fazendo com que esse tipo de

célula combustível trabalhe em alta temperatura, acima de 600 °C (Contreras *et al.*, 2021).

c) *Solid Oxide Fuel Cells – SOFC*:

As células a combustível de óxido sólido são amplamente reconhecidas pelas comunidades científicas e industrial devido a sua robustez e flexibilidade, onde não utiliza necessariamente o hidrogênio puro como seu único combustível em comparação aos outros tipos de *fuel cells*. Possuindo um sistema de energia de alta temperatura, a *SOFC* é composta por eletrodos de ânodo e cátodo que envolvem um eletrólito de óxido sólido, onde ocorrem as reações eletroquímicas gerando eletricidade (Corigliano *et al.*, 2022).

d) *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cells – PEMFC*:

A célula a combustível de membrana polimérico recebe bastante atenção devido a sua alta densidade de potência e seu rápido tempo de resposta. Por isso, esse tipo de *fuel cell* é o que mais se utilizam em aplicações automotivas (Lopez *et al.*, 2020). Também chamado de *Proton Exchange Membrane Fuel Cells*, o *PEMFC* é um dispositivo que trabalha em uma baixa temperatura (80°C) e, com reações eletroquímicas entre hidrogênio e oxigênio, onde no anodo é realizado a quebra da molécula de hidrogênio (H₂) e no cátodo a redução da molécula de oxigênio (O₂), produzindo como subproduto apenas eletricidade e água, sem emitir dióxido de carbono (CO₂). Além disso, possuem uma boa densidade de energia em comparação a outros tipos de *fuel cells* (Holton e Stevenson, 2013).

e) *Reversible Fuel Cells – RFC*:

A célula a combustível reversível alterna seu modo de operação entre ser trabalhar como um eletrolisador ou *fuel cell*. Como eletrolisador, as células utilizam energia elétrica externa para decompor a água em oxigênio e hidrogênio, fazendo com que os produtos químicos armazenam a energia. Como *fuel cell*, as células produzem eletricidade a partir do hidrogênio, podendo fornecer energia contínua mesmo em situações dinâmicas. Existem dois tipos de células combustível que podem ser considerados reversíveis, que é o *SOFC* e o *PEMFC* (Shawe, 2025).

f) *Alkaline Fuel Cells – AFC:*

As células a combustível alcalinas têm o mesmo princípio de funcionamento que as de membrana de troca de prótons (*PEMFC*). O hidrogênio (H_2) é suprido no ânodo, que reage com seus íons no eletrólito produzindo água e elétrons. Já o cátodo é suprido por oxigênio (O_2) e água, ocorrendo oxirredução e formando ions de H_2 que se difundem através do eletrólito para combinar com a reação de oxidação de H_2 (*Hydrogen Oxidation Reaction – HOR*) que acontece no ânodo (Ferriday e Middleton, 2021).

g) *Phosphoric Acid Fuel Cells – PAFC:*

Essa *fuel cell* utiliza o ácido fosfórico (H_3PO_4) líquido como eletrólito, no qual é contido uma matriz de carboneto de silício combinada com Teflon. Os eletrodos de carbono poroso contêm um catalisador de platina. Sua temperatura de trabalho varia de 150 a 300°C, possuindo uma pobre condutividade entre íons em baixas temperaturas, com tendência de intoxicar a platina do catalisador com monóxido de carbono (CO). No ânodo ocorre a quebra da molécula de hidrogênio (H_2) e no cátodo acontece reações eletroquímicas entre o oxigênio (O_2) e os íons do hidrogênio do ânodo que são deslocados através do H_3PO_4 , gerando eletricidade através dos elétrons (Rahaman e Islam, 2019).

A Figura 31 apresenta uma opção de célula a combustível do tipo *PEM* com 120 células e zero emissão de poluentes. Vendida pela empresa H2planet Brasil, essa *fuel cell* possui um sistema super compacto de 5500W, incluindo dispositivos eletrônicos de controle, podendo ter diferentes autonomias dependendo das necessidades de onde está integrada, ideal para conexões *off-grid*.

Figura 31 – Célula a Combustível PEMFC (H 5000)



Fonte: Hydro2Power (2025)

4.6 Considerações sobre a Análise de Mercado e ao Eletroposto na cidade de Florianópolis

A cidade de Florianópolis devido a sua localidade geográfica (perto do mar) e sua ocorrência de chuvas constantes, se torna um lugar atrativo para a instalação de um eletroposto *off-grid* híbrido de hidrogênio. Com o aumento de vendas de veículos elétricos na região, a capital de Santa Catarina poderia ser pioneira na integração de veículos a célula combustível (*FCEVs*) a sociedade brasileira, tendo em vista que há recursos suficientes para a produção em massa de hidrogênio (H_2) para o abastecimento desse tipo de automóvel.

O local escolhido para a implementação da arquitetura do eletroposto planejado também agrada, com proximidade a uma estação de tratamento da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN) no bolsão da Avenida Beira Mar Norte, conhecida como Unidade de Recuperação Ambiental (URA).

O sistema de captação da água da chuva e a utilização da água do mar como recursos para purificação e produção de hidrogênio nesse local é promissor, tendo em vista que a cidade de Florianópolis é uma ilha onde tem bastante

precipitações divididas por todo ano. Uma ideia interessante seria integrar os recursos de captação da água da chuva e do mar a estação de tratamento URA, com a CASAN realizando o armazenamento, dessalinização e purificação dessa água, trazendo mais benefícios para o eletroposto proposto e aproveitando a infraestrutura local.

Com as opções de geração solar fotovoltaica e eólioelétrica, esse eletroposto estaria bem equipado para gerar energia elétrica proveniente dos ventos da região e de sua irradiação solar, suficiente para o eletrolisador realizar a quebra da molécula da água purificada obtida através da osmose reversa para a produção de hidrogênio verde. O Sistema de Armazenamento de Energia em Baterias (*BESS*) também é útil para armazenar a energia excedente das fontes renováveis do processo de produção de H_2 , podendo estocar esse recurso e utilizá-la nos demais veículos elétricos ou quando ocorrer intermitências meteorológicas.

Para o H_2 verde produzido, seu excedente poderá ser armazenado em cilindros específicos para essa função, sendo necessário sua condensação através de um compressor específico. Além de ter a capacidade de abastecer *FCEVs*, esse ponto de recarga também pode fornecer eletricidade aos veículos elétricos com o auxílio das células a combustível, que quando entram em contato com o hidrogênio (H_2) produzem energia elétrica.

Por fim, conforme analisado, muitos desses equipamentos estão sendo fabricados e comercializados nacionalmente, com exceção dos eletrolisadores. Esse fator facilita o desenvolvimento de infraestrutura e planejamento para a implementação do concebido eletroposto *off-grid* híbrido a cidade de Florianópolis.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Brasil tem um potencial enorme para se destacar no que diz respeito a transição energética, tendo diversos recursos naturais para diminuir a emissão de gases de efeito estufa (GEE). Com a matriz elétrica baseada em sua maioria em fontes renováveis, o Brasil é um dos poucos países no mundo a não depender diretamente de termelétricas para produção de energia elétrica.

Apesar da matriz energética brasileira não ser tão sustentável como a matriz elétrica, o Brasil também tem destaque, com diversidades de recursos energéticos para todos os setores econômicos. Um dos setores que mais preocupa é o de transportes, possuindo relevância devido a predominância do uso de combustíveis fósseis em veículos equipados com motores de combustão interna, e conseqüentemente na forte emissão de gases poluentes a atmosfera. Para que isso mude, é necessário investir em tecnologias que evitem essa poluição ao meio ambiente, uma das opções mais expressivas é a eletrificação do setor de transportes brasileiro.

Os veículos elétricos foram apresentados recentemente a sociedade brasileira e podem alavancar o Brasil na corrida da transição energética. Com variados modelos, esses veículos têm atraindo cada vez mais brasileiros a adquiri-los, fazendo com que exista competitividade com os veículos tradicionais. Porém, a infraestrutura de recarga desses automóveis alternativos no Brasil ainda é precária comparado com os postos de combustíveis convencionais, mesmo com o crescimento moderado dos chamados eletropostos por diversas regiões do país.

Os eletropostos são os postos de combustíveis dos veículos alternativos, é nele onde veículos elétricos *plug-in (PEVs)* e híbridos *plug-in (PHEVs)* podem recarregar suas baterias. Há diversos tipos de conexão para os eletropostos, podendo ser conectado (*on-grid*) ou não a rede (*off-grid*). O eletroposto *off-grid* pode mudar o rumo do Brasil e o crescimento desses veículos no país, sendo um ponto de recarga que não irá provocar perturbações na rede elétrica da concessionária, podendo ser integrado com diversos tipos de fontes renováveis e não-esgotáveis (solar

fotovoltaica, eolioelétrica), e permitindo também ser implementado em qualquer localidade, até as mais remotas.

Além da opção de eletrificação dos veículos, há também um combustível que vem se destacando como um recurso energético para o setor de transportes mundial, o hidrogênio (H₂). O H₂ pode ser obtido através da eletrolise da água em seu estado puro ou pela reforma do etanol, sendo muito atraente para o Brasil que possui uma matriz elétrica renovável e é um dos países que mais produzem e utilizam etanol em veículos no mundo.

A agregação de hidrogênio com eletropostos *off-grid* é extremamente interessante, podendo usar a energia elétrica de recursos renováveis e não-esgotáveis para realizar a eletrólise, gerando o chamado hidrogênio verde, que é o H₂ quando feito a partir de fontes sustentáveis. A água também pode ser aproveitada de locais como o mar e de redes pluviais, quando realizado os devidos processos de purificação da mesma.

A integração de hidrogênio com células a combustível também chama atenção, onde quando unidos podem gerar energia elétrica, possibilitando assim utilizar esse recurso energético para abastecer veículos elétricos *plug-in (PEVs)* e veículos movidos a hidrogênio (*Fuel Cell Electric Vehicle - FCEVs*). Com isso, tem-se um modelo de ponto de recarga inusitado e completamente sustentável, chamado eletroposto *off-grid* híbrido de hidrogênio verde.

Esse modelo juntamente com a reforma do etanol pode fazer com que a tecnologia de produção de hidrogênio verde no Brasil desenvolva exponencialmente, com a possibilidade de geração de H₂ através de recursos renováveis e não-esgotáveis, atraindo investimentos para a melhora de infraestrutura de recarga e trazendo mais sustentabilidade ao setor de transportes e outras categorias econômicas. Além disso, pode abrir mais ainda o mercado de veículos alternativos no Brasil, com variações que nacionalmente ainda não existem, afastando da dependência de veículos eletrificados para o progresso do setor de transportes brasileiro e melhorando a corrida do país em relação a transição energética.

REFERÊNCIAS

- ABVE. **Eletrificados crescem 145% no trimestre**. 2024. Disponível em: <https://abve.org.br/eletrificados-crescem-145-no-trimestre-e-tem-segundo-melhores-da-historia/>. Acesso em: 09 jun. 2024a.
- ABVE. **Eletropostos**. 2025b. Disponível em: <https://abve.org.br/abve-data/bi-eletropostos/>. Acesso em: 05 jun. 2025.
- ABVE. **Geografia da Eletromobilidade**. 2025a. Disponível em: <https://abve.org.br/bi-geografia-da-eletromobilidade/>. Acesso em: 05 jun. 2025.
- ABVE. **Veículos *plug-in* atingem 70% dos eletrificados em abril e batem novo recorde**. 2024b. Disponível em: <https://abve.org.br/veiculos-plug-in-chegam-a-70-dos-eletrificados-em-abril-e-batem-novo-recorde/>. Acesso em: 10 jun. 2024
- ACHARIGE, S. S. G.; HAQUE, M. E.; ARIF, M. T.; HOSSEINZADEH, N.; HASAN, K. N.; OO, A.M.T. Review of Electric Vehicle Charging Technologies, Standards, Architectures, and Converter Configurations. **IEEE Access**, Vic, v. 11, p. 41218–41255, 2023. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10102467>. Acesso em: 02 jun. 2025.
- AGUIAR, H., WEISS, M., LUPPE, M., & CONSONI, F. O veículo elétrico: estudo da percepção dos brasileiros. **Revista Científica E-Locução**, v. 1, n. 15, 2019. Disponível em: <https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucacao/article/view/180>. Acesso em: 04 jun. 2024.
- ALVES, M. O. L. **Energia solar**: Estudo da geração de energia elétrica através dos sistemas fotovoltaicos *on-grid* e *off-grid*. 2019. 76 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade, 2019. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2019/6/MONOGRAFIA_EnergiaSolarEstudo.pdf. Acesso em: 20 abr. 2025.
- AMARAL, M. M. **Avaliação técnica do transporte e do armazenamento de hidrogênio visando a descarbonização do sistema energético nacional**. 2021. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energias Renováveis) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Nova de Lisboa, 2021. Disponível em: <https://run.unl.pt/handle/10362/121253>. Acesso em: 09 jun. 2024.
- ANALYTA. **Regulação da Mobilidade Elétrica: Quais os Avanços e Desafios**. 2020. Disponível em: <https://revistaanalytica.com.br/regulacao-da-mobilidade-eletrica-quais-os-avancos-e-desafios/>. Acesso em: 09 jun. 2024.
- ANDRADE, A. L. C.; MATTEI, L. Consumo energético e emissões de CO₂: Uma análise do setor de transportes brasileiro. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE

ECONOMIA, 39, 2011, Foz do Iguaçu/PR. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: ANPEC, 2011. Disponível em: <https://necat.ufsc.br/files/2012/09/ArtAndre-Lauro-ANPEC-2011-TRANSPORTES.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2024.

ANFAVEA. **Conduzindo o futuro da mobilidade no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://anfavea.com.br/site/carta-da-anfavea/>. Acesso em: 31 mar. 2024.

ARIOLI, V. T. **Análise de Impactos Técnicos Provocados pela Penetração Massiva de Veículos Elétricos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. 2016. Disponível em: http://taurus.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/320742/1/Arioli_VitorTorquato_M.pdf. Acesso em: 09 de jul. 2024.

ATLAS COPCO GROUP. **Compressor de hidrogênio Atlas Copco**. 2025. Disponível em: <https://www.atlascopco.com/pt-br/compressors/products/gas-compressors/h2y-high-pressure-hydrogen-compressor>. Acesso em: 30 jun. 2025.

AUYAN. **Eletrolisador alcalino Auyan (AOQING_1000A)**. 2025. Disponível em: <https://www.auyanglobe.com/pt/hydrogen-production/Hydrogen-Production-Electrolyzer.html>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BAHRAMI, A. **EV Charging Definitions, Modes, Levels, Communication Protocols and Applied Standards**. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/338586995_EV_Charging_Definitions_Modes_Levels_Communication_Protocols_and_Applied_Standards. Acesso em: 02 abr. 2025.

BARASSA, E.; CRUZ, R. F.; MORAES, H. B. **Roadmap Nacional para Infraestrutura da Mobilidade Elétrica no Brasil**. 2022. Disponível em: <https://pnme.org.br/biblioteca/roadmap-nacional-para-infraestrutura-da-mobilidade-eletrica-no-brasil/>. Acesso em: 09 jun. 2024.

BARBOSA, L. P.; MOURA, L. G. M. M.; FILHO, A. K. D. B. Avaliação da expansão do gás natural como ponte para a transição energética no Brasil. **Latin American Journal of Energy Research**, v. 11, n. 1, p. 1-11, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/lajer/article/view/43404>. Acesso em: 02 jun. 2025.

BARTHOLOMEU, D. B.; PÉRA, T. G.; MEDEIROS, T. F. **Descarbonização do transporte de rodoviário de cargas agrícolas**. 2023. Disponível em: <https://periodicos.fgv.br/agroanalysis/article/view/89456/83962>. Acesso em: 08 jul. 2024.

BEZERRA, L. B. **Estudo e conceitos sobre a geração de energia elétrica por hidrogênio verde**. 2025. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Caraúbas, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/15a0561a-9a31-487e-9531-e9081887f894>. Acesso em: 05 abr. 2025.

BEZERRA, F. D. Hidrogênio verde: Nasce um gigante no setor de energia. **Caderno Setorial ETENE**, ano 6, n. 212, 2021. Disponível em: <https://bnb.gov.br/s482-dspace/handle/123456789/1109>. Acesso em: 08 jun. 2024.

BABREKAR, V. J.; BANDAWAR, S. D.; BEHADE, A. R. Review Paper on Hybrid Solar-Wind Power Generator. **International Journal of Computer Applications**, v. 165, n. 5, p. 36-40, 2017. Disponível em: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume165/number5/babrekar-2017-ijca-913866.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BARBOSA, V. Nissan revela o 1º carro do mundo movido a óxido sólido. **Exame**, 05 ago. 2016. Disponível em: <https://exame.com/tecnologia/nissan-revela-o-1o-carro-do-mundo-movido-a-oxido-solido/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

BRAUNER, C. F.; CIGALES, M. P.; SOARES, R. C. Algumas considerações sobre a teoria interpretativista e o método indutivo na pesquisa social. **Revista Querubim**, v. 10, n. 22, p. 36-199, 2014. Disponível em: https://www.academia.edu/6384436/Algumas_considera%C3%A7%C3%B5es_sobre_a_teor%C3%A9tica_interpretativista_e_o_m%C3%A9todo_indutivo_na_pesquisa_social. Acesso em: 09 jun. 2024.

BYD. **BYD bate novo recorde, vende 6.965 carros em abril e se torna a 9ª marca mais vendida do Brasil no ranking geral**. 2024. Disponível em: [https://byd.com.br/byd-bate-novo-recorde-vende-6-965-carros-em-abril-e-se-tornaa9amarcamaisvendidadobrasilnorankinggeral/#:~:text=\(02%2F05%2F2024\),da%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Ve%C3%ADculos%20Automotores\)](https://byd.com.br/byd-bate-novo-recorde-vende-6-965-carros-em-abril-e-se-tornaa9amarcamaisvendidadobrasilnorankinggeral/#:~:text=(02%2F05%2F2024),da%20Distribui%C3%A7%C3%A3o%20de%20Ve%C3%ADculos%20Automotores)). Acesso em: 07 jun. 2024.

BYD. **BYD Dolphin: mais prêmios**. 2024. Disponível em: <https://byd.com.br/byd-dolphineeleitocarrodoano2024nobrasil/#:~:text=BYD%20Dolphin%3A%20mais%20pr%C3%AAmios,%E2%80%9CCar%20Awards%20Brasil%202024%E2%80%9D>. Acesso em: 07 jun. 2024.

CAMPOS, D. **Choveu em quase metade dos dias de 2024 em Florianópolis, aponta levantamento**. 2024. Disponível em: <https://ndmais.com.br/tempo/2024-e-o-terceiro-ano-mais-chuvoso-em-florianopolis/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

CASTRO, G. H. **Descarbonização do setor de transporte**: Comparação das emissões de veículos leves convencionais, híbridos e elétricos. 2023. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2023. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/63937/63937.PDF>. Acesso em: 07 jun. 2024.

CASTRO, N. D.; CASTRO, B. Inteligência artificial: Conheça as aplicações e tendências que estão revolucionando o setor elétrico. **Revista O Setor Elétrico**, ano 19, ed. 2021, p. 8-10, mar. 2024. Disponível em: https://www.osetoelettrico.com.br/wpcontent/uploads/2024/03/OSE_201_finalSIMPL-ES-4.pdf. Acesso em: 07 jun. 2024.

CAVALCANTE, L. C. P. J. **Análise comparativa da substituição de motores a combustão por motores elétricos no setor de transportes**. 2021. 14 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/04aa9b15-5775-46e4-a210-0016f30bfcbb/content>. Acesso em: 07 jun. 2024.

CHRISPIAM, M. C.; SOUZA, J. F. T.; SIMÕES, A. F. Avaliação comparativa entre veículos convencionais no contexto de mitigação das mudanças climáticas. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 1, p.127-148, jan/mar. 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334176203_avaliacao_comparativa_entre_veiculos_eletricos_e_veiculos_convencionais_no_contexto_de_mitigacao_das_mudancas_climaticas. Acesso em: 07 jun. 2024.

CASAN. **Começa a montagem da unidade de tratamento da Beira-Mar Norte**. 2018. Disponível em: <https://www.casan.com.br/noticia/index/url/comeca-a-montagem-da-unidade-de-tratamento-da-beira-mar-norte#0>. Acesso em: 06 jun. 2025.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Boletins técnicos CNT**. 2024. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em: 08 jun. 2024.

CONTRERAS, R. R.; ALMARZA, J.; RINCON, L. Molten carbonate fuel cells: a technological perspective and review. **Energy Sources**, v. 47, n. 2, p. 1-15, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/356974334_Molten_carbonate_fuel_cells_a_technological_perspective_and_review. Acesso em: 30 jun. 2025.

CORIGLIANO, O.; PAGNOTTA, L.; FRAGIAMO, P. On the Technology of Solid Oxide Fuel Cell (SOFC) Energy Systems for Stationary Power Generation: A Review. **Sustainability**, v. 14, p. 1-73, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/22/15276>. Acesso em: 30 jun. 2025.

COSTA, P. R. **Análise da capacidade de acomodação de eletropostos de carga rápida para veículos elétricos em redes de distribuição**. 2024. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2024. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/279072>. Acesso em: 02 jun. 2025

DELGADO, F.; COSTA, J. E. G.; FEBRARO, J.; SILVA, T. B. Carros elétricos. **Revista FGV Energia**, v. 4, n. 7, 2017. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/4de628e8-710b-4607-8c47-c96ae4fdbcb>. Acesso em: 09 jun. 2024.

DIAZ, I. U.; LAMAS, W. Q. O Hidrogênio Verde como Sistema de Armazenamento Energético em Microrredes. *In*: SEMINÁRIO INTERDISCIPLINAR DE ENERGIA, 2, 2023, São Paulo/SP. **Anais [...]**. São Paulo: SINERG, 2023. Disponível em:

https://www.researchgate.net/profile/Mariana-Ciotta/publication/370553345_Anais_do_II_Seminario_Interdisciplinar_de_Energia/links/645552104af78873525eb989/Anais-do-II-Seminario-Interdisciplinar-de-Energia.pdf#page=51. Acesso em: 30 jun. 2025.

DORNHEIM, M. *et al.* Research and development of hydrogen carrier based solutions for hydrogen compression and storage. **Progress in Energy**, v. 4, n. 4, p. 1-38, 2022. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2516-1083/ac7cb7>. Acesso em: 4 jun. 2025.

ECOSOLI. **Kit Filtro Coletor Água de Chuva Vf1**. 2025. Disponível em: https://www.ecosoli.com.br/kit-filtro-coletor-agua-de-chuva-ciclo-1000-kit-completo-de-instalacao-dn-200-ecosoli?parceiro=2730&srsId=AfmBOopIYZk961XKKd25XPaOEUI0_4KpLJC8mAVmHSycZPTm4_2RwgSj_kY. Acesso em: 30 jun. 2025.

ECO SUSTENTÁVEL. **Cisterna Vertical Modular (1000 litros)**. 2025. Disponível em: https://www.ecosustentavel.eng.br/cisterna-vertical-modular-1000-litros?gad_source=4&gclid=Cj0KCQiAvvO7BhC-ARIsAGFyToXBYYJXHRG4n6jPBh52lqt_aaOiyiJAq2AaHKZz8dck8tPrMSvl3pEaAtC1EALw_wcB. Acesso em: 30 jun. 2025.

ELCOGEN. **Solid Oxide for electrolyzer (E3000)**. 2025. Disponível em: <https://elcogen.com/products/solid-oxide-stacks-for-electrolyser-systems/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

EPE. **Brasil reduz dependência de petróleo e gás natural na oferta de energia da matriz energética**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/06/brasil-reduz-dependencia-de-petroleo-e-gas-natural-na-oferta-de-energia-da-matriz-energetica#:~:text=Os%20dados%2C%20divulgados%20nesta%20semana,sustentabilidade%20da%20oferta%20energ%C3%A9tica%20nacional>. Acesso em: 01 jul. 2024.

EPE. **Descarbonização do setor de transporte rodoviário**: Intensidade de carbono das fontes de energia. 2022. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-708/NT-EPE-DPG-SDB-2022-03_Intensidade_de_carbono_Transporte_Rodoviario.pdf. Acesso em: 01 abr. 2024.

EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032**: Demanda e Eficiência Energética. 2023a. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2032>. Acesso em: 31 mar. 2024.

EPE. **Matriz energética e elétrica**. 2023b. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>. Acesso em: 31 mar. 2024.

EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032: Demanda e Eficiência Energética do Setor de Transportes. 2023c.** Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20de%20Demanda%20de%20Transportes_PDE%202032.pdf. Acesso em: 20 jun. 2024.

EPE. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2024.** 2023d. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 10 jun. 2024.

EPE. **Relatório síntese 2024.** 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 01 jul. 2024.

EPE. **Transporte rodoviário de cargas. 2021.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/transporte-rodoviario-de-cargas-proposta-para-o-reequilibrio-2021>. Acesso em: 07 jun. 2024.

ENERGIA PORTATIL. **Central Deltra Pro ULTRA 7200W EcoFlow.** 2025. Disponível em: https://energiaportatil.com.br/products/estacao-de-energia-portatil-ecoflow-delta-pro-ultra?gad_source=1&gad_campaignid=22238596931&gbraid=0AAAAA9WND2eALqpXWliX4kquELvKxU2vx&gclid=Cj0KCQjwjo7DBhCrARIsACWauSlo-FLhTWnb_bmoZrLjCyGlq4iGXdTUvZeuAHqVB7cTK2_W3BPYw3saAn0CEALw_wcB. Acesso em: 30 jun. 2025.

EPBR. **Brasil deve ter quase 7 mil eletropostos em operação até final de 2024.** 2024. Disponível em: <https://epbr.com.br/brasil-deve-ter-quase-7-mil-eletropostos-em-operacao-ate-final-de-2024/>. Acesso em: 09 jun. 2024.

ERDEMIR, D.; DINCER, I. Development of solar-driven charging station integrated with hydrogen as an energy storage option. **Revista Energy Conversion and Management**, v. 257, 2022. Disponível em: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/9jJ010q9/>. Acesso em: 05 jun. 2024.

EZE, V. H. U.; EZE, M. C.; OGBONNA, C. C.; UGWU, S. A.; OGBONNA, E. K.; ONYEKE, C. A. Comprehensive Review of Recent Electric Vehicle Charging Stations. **Global Journal of Scientific and Research Publications**, v. 1, p. 16-23, 2021. Disponível em: https://www.academia.edu/97732945/Comprehensive_Review_of_Recent_Electric_Vehicle_Charging_Stations#loswp-work-container. Acesso em: 05 jun. 2025.

FELIX, L. Por que Nissan tentará extrair hidrogênio do etanol e Fiat desistiu. **Mobi Auto**, 16 jun. 2021. Disponível em: <https://www.mobiauto.com.br/revista/por-que-nissan-tentara-extrair-hidrogenio-do-etanol-e-fiat-desistiu/915>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FENABRAVE. **O desempenho da distribuição automotiva no Brasil**. 2023. Disponível em: <https://www.fenabreve.org.br/anuarios/Anuario2023.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2024.

FERREIRA, A. R. **Perspectivas de futuro no uso do hidrogênio como recurso renovável na matriz energética**. 2020. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação em Fontes Renováveis) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/36163>. Acesso em: 07 jun. 2024.

FERREIRA, M. A. M.; CARDOSO, R. B. Energy and environmental impacts of using solar photovoltaic systems for charging electric cars at gas station in Brazil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e767997749, 2020. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/7749>. Acesso em: 05 jun. 2024.

FERREIRA, L. F. C.; PACHECO, J. S. Novos usos para a energia solar diante das mudanças tecnológicas mundiais. **Revista Ibero**, v. 8, n. 11, p. 3165-3175, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/7947>. Acesso em: 05 jun. 2024.

FERRIDAY, T. B.; MIDDLETON, P. H. Alkaline fuel cell technology - A review. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 46, n. 35, p. 18489-18510, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319921007965>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FONTGALLAND, I. L. Métodos de uso e reuso de água no Brasil e nos Estados Unidos: diferenças de escolhas de sustentabilidade. **Revista Interdisciplinar e do Meio Ambiente**, v. 1, n. 1, 2019. Disponível em: <https://caroa.org.br/revista/index.php/rima/article/view/41>. Acesso em: 05 jun. 2024.

FRANTZ, A. R. **Desafios atuais do mercado de carros elétricos**. 2023. 58 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/266191>. Acesso em: 09 jun. 2024.

FUEL CELL STORE. **PEM Water Electrolyzer (LCWE-25-30)**. 2025. Disponível em: <https://www.fuelcellstore.com/pem-water-electrolyzer-lcwe-25-30>. Acesso em: 30 jun. 2025.

GAPSKI, M. T.; CALESSO, R. H.; SOUZA, W. O. D. **Análise comparativa de fontes de energia para veículos elétricos**. 2022. 26 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Positivo, Curitiba, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unicid.edu.br/jspui/bitstream/123456789/5460/1/Analise%20comparativa%20de%20fontes%20de%20energia%20para%20veiculos%20eletricos.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.

GIFEL – ENGENHARIA DE INCÊNDIO. **Cilindro da Alta Pressão (Gifel)**. 2025. Disponível em: <https://www.gifel.com.br/cilindros-de-alta-pressao/cilindro-de-hidrogenio/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

GOMES, J. Eletrólise da água na obtenção de Hidrogênio: O ressurgimento de uma tecnologia. **Revista de Ciência Elementar**, v. 10, n. 5, p. 27-30, 2022. Disponível em: <https://rce.casadasciencias.org/rceapp/art/2022/025/>. Acesso em: 08 ago. 2024.

GONÇALVES, F. O.; LOPES, E. S.; LOPES, M. S.; FILHO, R. M. Evaluation of the feasibility of ethanol and gasoline in solid oxide fuel cell vehicles in Brazil. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 46, p. 36381-36397, 2021.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319921034108>. Acesso em: 04 jun. 2024.

HOLTON, O. T.; STEVENSON, J. W. The Role of Platinum in Proton Exchange Membrane Fuel Cells. **Platinum Metals Rev**, v. 57, n. 4, p. 259-271, 2013.

Disponível em: <https://www.ingentaconnect.com/contentone/matthey/pmr/2013/00000057/00000004/art00002?crawler=true&mimetype=application/pdf>. Acesso em: 30 jun. 2025.

HOLZMANN, H. A.; DALLAMUTA, J.; MAZUR, V. T. **As Engenharias e seu papel no desenvolvimento autossustentado**. Ponta Grossa: Editora Atena, 2020.

Disponível em: <https://atenaeditora.com.br/catalogo/ebook/as-engenharias-e-seu-papel-no-desenvolvimento-autossustentado-2>. Acesso em: 31 mar. 2024.

HYDRO2POWER. **Célula a Combustível PEMFC (H 5000)**. 2025. Disponível em: <https://www.h2planet.eu/br/detail/H5000>. Acesso em: 30 jun. 2025.

INFRA S.A. **Transições energéticas no setor de transportes: Matriz energética brasileira e políticas públicas**. 2023. Disponível em: <https://ontl.infrasa.gov.br/wp-content/uploads/2023/12/Transicao-Energetica-do-Setor-de-Transportes-volume-2.pdf>. Acesso em: 31 mar. 2024.

IEA. **Global ev outlook 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>. Acesso em: 07 jun. 2024.

IEA. **Trends in charging infrastructure**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023/trends-in-charging-infrastructure>. Acesso em: 07 jun. 2024.

IVY, J. **Summary of Electrolytic Hydrogen Production**. Golden: National Renewable Energy Laboratory, 2004. Disponível em: <https://docs.nrel.gov/docs/fy04osti/36734.pdf>. Acesso em: 04 jun. 2025.

JAIN, K.; JAIN, K. Hydrogen Fuel Cell: A Review of different types of fuel Cells with Emphasis on PEM fuel cells and Catalysts used in the PEM fuel cell. **International Journal of All Research Education and Scientific Methods**, v. 9, n. 9, p. 1012-1025. Disponível

em:https://www.researchgate.net/publication/354661527_Hydrogen_Fuel_Cell_A_Review_of_different_types_of_fuel_Cells_with_Emphasis_on_PEM_fuel_cells_and_Catalysts_used_in_the_PEM_fuel_cell. Acesso em: 30 jun. 2025.

JOÃO, A. C.; PAULO, L. M.; RISTORI, P. V. T.; RAMIRES, P. V. **Reforma de etanol para produção de hidrogênio verde no Brasil**. 2023. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2023. Disponível em: <https://repositorio.maua.br/bitstream/handle/MAUA/556/QMD02.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 05 jun. 2024.

KPMG. **Redução da emissão de carbono e combate ao efeito estufa**. 2024. Disponível em: <https://kpmg.com/br/pt/home/insights/2024/01/net-zero-readiness-report-2023.html>. Acesso em: 08 jun. 2024.

LARA, D. M.; RICHTER, M. F. Hidrogênio verde: a fonte de energia do futuro. **Revista Novos Cadernos Naea**, v. 26, n. 1, p. 415-436, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/ncn/article/view/12746>. Acesso em: 05 jun. 2024.

LIMA, D. A. V. **Análise energética de um sistema híbrido eólico-fotovoltaico**. 2017. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2017. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/631/1/MONOGRAFIA_An%C3%A1liseEnerg%C3%A9ticaModelo.pdf. Acesso em: 08 jun. 2025.

LIMA, G. C. L. D. S.; PORTUGAL, L. D. S. Perspectivas para o desenvolvimento da eletrificação dos transportes. *In*: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET, 32, 2018, Gramado/RS. **Anais [...]**. Gramado: ANPET, 2018. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/items/fb29199b-65bc-4038-98b7-c681bb660dea>. Acesso em: 04 jun. 2024.

LIMA, J. F. M. **Análise de viabilidade para uso de veículos elétricos, com dimensionamento de postos de recarga para ônibus elétricos**. 2023. 86 f. Dissertação (Mestrado em Eficiência Energética e Sustentabilidade) - Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/5687>. Acesso em: 01 jun. 2024.

LIU, C. *et al.* Opportunities and Challenges of Vehicle to Home, Vehicle to Vehicle, and Vehicle to Grid Technologies. **Proceedings of the IEEE**, v. 101, n. 11, p. 2409-2427, 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Liu-Chunhua/publication/260685984_Opportunities_and_Challenges_of_Vehicle-to-Home_Vehicle-to-Vehicle_and_Vehicle-to-Grid_Technologies/links/559a0edb08ae21086d25c667/Opportunities-and-Challenges-of-Vehicle-to-Home-Vehicle-to-Vehicle-and-Vehicle-to-Grid-Technologies.pdf. Acesso em: 30 jun. 2025.

LOPEZ, V. F. V.; MASON, T.; SHEARING, P. R.; BRETT, D. J. L. Carbon monoxide poisoning and mitigation strategies for polymer electrolyte membrane fuel cells – A review. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 79, p. 1-79, 2020.

Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036012851930156X>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MADASWAMY, S. L.; ALOTHMAN, A.; ANAZY, M. M.; AFSEISI, A.; ALQAHTANI, K. N.; NATARAJAN, S. K.; ANGAIAH, S.; DHANUSURAMAN, R. Polyaniline-based nanocomposites for direct methanol fuel cells (DMFCs) - A Recent Review. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**, v. 97, p. 79-94, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1226086X2100085X>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MAGRI, R. T. G. **Diagnóstico e recomendações para implantação dos veículos elétricos no Brasil**. 2022. 201 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2022. Disponível em:

https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_f7fa8d1b5f5c261b3acc160f4ffc41a6. Acesso em: 03 jun. 2024.

MEHRJERDI, H. Off-grid solar powered charging station for electric and hydrogen vehicles including fuel cell and hydrogen storage. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 44, p. 11574-11583, 2019. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919311668>. Acesso em: 05 jun. 2025.

MICENA, R. P.; PIZARRO, O. R. L.; SOUZA, T. M.; SILVEIRA, J. L. Solar-powered Hydrogen Refueling Stations: A techno-economic analysis. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, p. 2308-2318, jan. 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319919343101>. Acesso em: 02 jun. 2025.

MILANEZ, A. T.; MANCUSO, R. V.; GODINHO, R. D.; POPPE, M. K. O Acordo de Paris e a transição para o setor de transportes de baixo carbono: o papel da plataforma para o biofuturo. **Revista BNDES**, v. 45, p. 285-340, 2017. Disponível em:

<https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/11756>. Acesso em: 07 jun. 2024.

MIDR. **Sistema de Dessalinização**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/programa-agua-doce/sistemas-de-dessalinizacao/sistema-de-dessalinizacao>. Acesso em: 06 jun. 2025.

MOREIRA, P. A. G. **Adesão ao hidrogênio na mobilidade em Portugal**. 2023. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Católica Portuguesa, 2023. Disponível em:

<https://ciencia.ucp.pt/pt/studentTheses/ades%C3%A3o-ao-hidrog%C3%A9nio-na-mobilidade-em-portugal>. Acesso em: 06 jun. 2024.

MOURA, C. H. S.; SILVEIRA, J. L.; LAMAS, W. D. Q. Dynamic production, storage, and use of renewable hydrogen: A technical-economic-environmental analysis in the public transport system in São Paulo state, Brazil. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 45, p. 31585 – 31598, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319920332250?via%3DiHub>. Acesso em: 01 jun. 2025.

MOVIBIO ENERGIA SOLAR. **Kit inversor + carregador de veículo elétrico**. 2025. Disponível em: <https://www.movibio.com.br/carregadoreletrico>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MURTA, A. L. S.; FREITAS, M. A. V.; MURTA, M. P. A. Redução de emissões de CO₂ por uso de biodiesel na frota de ônibus urbana do rio de janeiro. **Revista Valore**, v. 8, p. 41-56, 2023. Disponível em: <https://revistavalore.emnuvens.com.br/valore/article/view/1359>. Acesso em: 05 jun. 2024.

NEOCHARGE. **O que são veículos elétricos**. 2023. Disponível em: https://www.neocharge.com.br/tudo-sobre/carro-eletrico/veiculo-eletrico?srsltid=AfmBOopgqyeV63_t6K6Cz30U3nO2j33q_xQYs8YWOgXCkvNiqeUwS-QG. Acesso em: 16 jun. 2024.

NEOSOLAR. **Placa solar fotovoltaica DAH 700W (DHJ-66Y18-DG)**. 2025. Disponível em: https://www.neosolar.com.br/loja/painel-solar-fotovoltaico-610w-sunova-ss610-66-mdh.html?gad_source=1&gad_campaignid=16566785982&gbraid=0AAAAADml2s3c4rDBVCbe_42FsKnXN0WI&gclid=Cj0KCQjwjo7DBhCrARIsACWauSikUOqglrrHAUuZsATnmqYfSKkep651ZiRhv32KikLsmJLxwrcMk5QaAujueALw_wcB. Acesso em: 30 jun. 2025.

NERY, Géssica. **Protocolo de Kyoto**. 2005. Disponível em: <https://egov.ufsc.br/portal/taxonomy/term/386/search?page=576>. Acesso em: 08 jun. 2024.

NIKOLAIDIS, P.; POULLIKKAS, A. A comparative overview of hydrogen production processes. **Renewable and Sustainable Energy Review**, v. 67, p. 597-611, jan. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116305366?via%3DiHub>. Acesso em: 10 abr. 2025.

NISSAN. **Nissan unveils world's first Solid-Oxide Fuel Cell Vehicle**. 2016. Disponível em: <https://europe.nissannews.com/en-GB/releases/nissan-unveils-worlds-first-solid-oxide-fuel-cell-vehicle>. Acesso em: 30 jun. 2025.

NOVAIS, C. R. B. **Mobilidade elétrica: Desafios e oportunidades**. 2016. Disponível em: <https://repositorio.fgv.br/server/api/core/bitstreams/ec06c058-eddb-4758-a82a-c07ae9e337bb/content>. Acesso em: 01 abr. 2024.

NSENGIYAREMYE, J.; BIKASH, P. C.; BEGOVIC, M. M. Low-cost Communication assisted Line Protection For Multi-inverter Based Microgrids. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 36, p. 3371-3382, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/tpwrd.2020.3039176>. Acesso em: 01 jun. 2025.

OLIVEIRA, B. L. D. C. **Transição energética no Brasil**: Comparação da infraestrutura do hidrogênio com outras fontes. 2023. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/3454>. Acesso em: 05 jun. 2024.

OLIVEIRA, P. G. S.; PEREIRA, M. S. Estudo sobre a economia de água por meio de reaproveitamento da água da chuva. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 2, p. e18412240169, 2023. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/40169>. Acesso em: 02 jun. 2024.

PIMENTEL, V. A. P. **Potencial de produção de hidrogênio via Power-TO-Gas a partir de fonte eólica para mitigação de emissões de CO₂ em uma frota de ônibus no Estado do Ceará**. 2022. 71 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: https://prh41anp.ppe.ufrj.br/images/documentos/monografias/TCC_Victor_Pimentel_Publicado.pdf. Acesso em: 03 jun. 2024.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2014. Disponível em: https://cresebs.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf. Acesso em: 02 abr. 2025.

QUATRO RODAS. **Brasil terá primeira estação de hidrogênio a base de etanol do mundo**. 2023. Disponível em: https://quatorrodas.abril.com.br/testes/toyota-mirai-e-o-carro-a-hidrogenio-que-quer-aproveitar-nosso-etanol#goog_rewarded. Acesso em: 07 jun. 2024.

QUATRO RODAS. **Estes são os 10 carros elétricos mais baratos do Brasil em 2024**. 2024. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/carros-eletricos/estes-sao-os-10-carros-eletricos-mais-baratos-do-brasil-em-2024/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

RAHMAN, M. R.; ISLAM, M. M. Comparative Study of Different Fuel Cell Technologies. **Asian Journal of Information Technology**, v. 1, n. 1, p. 29-32, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/335568374_Comparative_Study_of_Different_Fuel_Cell_Technologies. Acesso em: 30 jun. 2025.

RIFKIN, J. **A economia do hidrogênio**. 1 ed. São Paulo: M. Brooks. 2003. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/asoc/a/Hyh9HZbmqy9Wwr4gKR9ZCNQ/?format=pdf&lang>. Acesso em: 02 jun. 2024.

RITURAJ, G.; MOULI, G. R. C.; BAUER, P. A Comprehensive Review on Off-Grid and Hybrid Charging Systems for Electric Vehicles. **IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society**, v. 3, p. 203-222, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9760063>. Acesso em: 01 jun. 2025.

ROCKMANN, R. **Hora de renovar o modelo do setor elétrico**. 2024. Disponível em: <https://valor.globo.com/publicacoes/especiais/revista-energia/noticia/2024/05/10/hora-de-renovar-o-modelo-do-setor-eletrico.ghtml>. Acesso em: 06 jun. 2024.

RODRIGUES, A. C. C. Policy, regulation, development and future of biodiesel industry in Brazil. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 4, p. 100197-100209, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666790821001579?via%3Dihub>. Acesso em: 28 maio 2025.

SANTOS, P. E. L.; ARAÚJO, F. J. C. O desenvolvimento da energia eólica no Brasil: uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero**, v. 9, n. 6. p. 2978-2989, 2023. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/10487>. Acesso em: 04 jun. 2024.

SANTOS, S. C. S. **O papel do hidrogênio na descarbonização do transporte coletivo público do Distrito Federal**. 2022. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2022. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/33616>. Acesso em: 02 jun. 2024.

SANTOS, S. S. **Análise do desempenho de motores a combustão interna flex (bicombustível)**. 2021. 34 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade Pitágoras, Imperatriz, 2021. Disponível em: https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/36917/1/SARA_SILVA_D OS_SANTOS.pdf. Acesso em: 20 maio 2025.

SARASWATHI, V. N.; RAMACHANDRAN, V. P. A comprehensive review on charger technologies, types, and charging stations models for electric vehicles. **Heliyon Journal**, v. 10, p. 1-53, 2024. Disponível em: <https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2405-8440%2824%2914976-6>. Acesso em: 01 jun. 2025.

SEEG BRASIL. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2021**. 2023a. Disponível em: <https://energiaambiente.org.br/wp-content/uploads/2023/04/SEEG-10-anos-v5.pdf>. Acesso em: 27 maio 2025.

SEEG BRASIL. **Análise das emissões de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas climáticas do Brasil 1970-2022**. 2023b. Disponível

em: https://oc.eco.br/wp-content/uploads/2023/11/Relatorio-SEEG_gases-estufa_2023FINAL.pdf. Acesso em: 31 mar. 2024.

SELLEY, R. C.; SONNENBER, S. A. **Elements of Petroleum Geology**. 2 ed. San Diego: Academic Press, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/book/9780123860316/elements-of-petroleum-geology>. Acesso em: 01 jun. 2025.

SHAWE, R. Reversible Fuel Cells: A Comprehensive Analysis of Challenges, Opportunities, and Regulatory Perspectives. **Journal of Power and Energy Engineering**, v. 13, n. 6, p. 1-18, 2025. Disponível em: <https://www.scirp.org/journal/jpee/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SILVA, H. M. F.; ARAUJO, F. J. C. Energia solar fotovoltaica no Brasil: Uma revisão bibliográfica. **Revista Ibero**, v. 8, n. 3, p. 859-869, 2022. Disponível em: <https://www.mendeley.com/catalogue/73cb6ad3-9979-3bbd-88c3-9eccb86c4930/>. Acesso em: 03 jun. 2025.

SILVA, R. J. M. **Sistemas de geração de energia solar**: Uma revisão bibliográfica. 2023. 17 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência e Tecnologia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/2f8b024a-79ab-42ad-b3cf-30b1d24935aa>. Acesso em: 05 jun. 2025.

SINGH, S.; CHAUHAN, P.; SINGH, N. J. Feasibility of Grid-connected Solar-wind Hybrid System with Electric Vehicle Charging Station. **Journal Of Modern Power Systems and Clean Energy**, v. 9, n. 2, p. 295-306, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9146492>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SOUTO, H. J. DA C.; NOGUEIRA, T. A. F. M. P. O hidrogênio como vetor energético do futuro. **Regista Técnico-Científica**, v. 28, p. 47-53, 2022. Disponível em: <https://ipp.iosekarvalho.net/index.php/neutroaterra/article/view/4494>. Acesso em: 01 jun. 2025.

SPMEDICA.COM. **Aparelho de Osmose Reversa**. 2025. Disponível em: <https://www.spmedica.com/laboratorial/osmose/osmose-reversa-120lh-com-lampada-uv-quimis-cod-q842u2120?srsltid=AfmBOoq2gYJHRvNQvaRzwJOKc5n-lrpwNtZb03RAGgDWIYKLPa20YEwjTrk>. Acesso em: 30 jun. 2025.

TAVARES, L. A. Matriz elétrica brasileira e as tendências futuras. **Revista Científica Multidisciplinar**, v. 4, n. 5, 2023. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/3135>. Acesso em: 02 jun. 2024.

TEIXEIRA, C. A. N.; MENDES, A. P. A.; COSTA, R. C.; ROCIO, M. A. R.; PRATES, H. F. Gás natural – Um combustível – Chave para uma economia de baixo carbono. **BNDES**, v. 27, n. 53, p. 131-175, 2021. Disponível em:

https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/20802/1/PR_Gas%20natural_215277_P_BD.pdf. Acesso em: 03 abr. 2025.

TESUP. **Gerador de turbina eólica horizontal Magnum**. 2025. Disponível em: https://tesup.com/br/produtos/tesup-turbinas-eolicas-horizontais-para-casas?gad_source=1&gad_campaignid=21555073827&gbraid=0AAAAADNrfawMrO39Jpxsgblt74lfOGufh&gclid=Cj0KCQjwjo7DBhCrARIsACWauSmLbynoixCzbSSkpN2fFpbhyGnQgPPdIATQ6SEARM_5U56-QUZGIYaAtbGEALw_wcB. Acesso em: 30 jun. 2025.

TOYOTA. **Toyota alcança marca de 100 mil veículos híbridos vendidos no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://www.toyotacomunica.com.br/toyota-alcanca-marca-de-100-mil-veiculos-hibridos-vendidos-no-brasil/>. Acesso em: 07 jun. 2024.

URSÚA, A.; GANDÍA, L. M.; SANCHIS, P. Hydrogen Production from Water Electrolysis: Current Status and Future Trends. **Proceedings of the IEEE**, Pamplona, v. 100, n. 2, p. 410-426, 2012. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5898382>. Acesso em: 04 jun. 2025

VASCONCELOS, L. F. S. **Estudo do impacto da penetração de estações de recarga para veículos elétricos na rede de distribuição**. 2023. 84 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2023. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/31621>. Acesso em: 31 mar. 2024.

VARGAS, REINALDO A.; CHIBA, RUBENS; FRANCO, EGBERTO G.; SEO, EMILIA S.M. Hidrogênio: o vetor energético do futuro?. *In*: CONGRESSO DE ADMINISTRAÇÃO DA FACULDADE ALFACASTELO, 1, 16-18 de maio, 2006, Alphaville, SP. **Anais [...]**. São Paulo: IPEN, 2006. Disponível em: https://www.oasisbr.ibict.br/vufind/Record/IPEN_e2b44a7c8183286bb187f58cbb1bf244. Acesso em: 01 jun. 2024.

VAZ, E. V. **Tecnologias de membranas para a dessalinização e purificação de águas**. 2015. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015. Disponível em: <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/90048/2/35876.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2024.

VIDAL, F. Produção e Mercado de etanol. **Caderno Setorial ETENE**, ano 5, n. 121, 2020. Disponível em: <https://www.bnb.gov.br/revista/cse/article/view/2849/1951>. Acesso em: 01 jun. 2025.

WADY, A. F. **Os sinais regulatórios necessários para o desenvolvimento da mobilidade elétrica na cidade**: Uma abordagem com foco na infraestrutura de recarga. 2021. 152 f. Tese (Mestre em Política Científica e Tecnológica). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas, 2021. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1166102>. Acesso em: 02 jun. 2024.

WU, H. A Survey of Battery Swapping Stations for Electric Vehicles: Operation Modes and Decision Scenarios. **IEEE Transactions On Intelligent Transportation Systems**, v. 23, p. 10163-10185, 2022. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9613817>. Acesso em: 01 jun. 2025.

XIANGJUN, L.; SHANGXING, W. Energy management and operational control methods for grid battery energy storage systems. **CSEE Journal of Power and Energy Systems**, v.7, p. 1026-1040, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8735431/authors>. Acesso em: 19 jun. 2025.

YUMIYA, H.; KIZAKI, M.; ASAI, H. Toyota Fuel Cell System (TFCS). **World Electric Vehicle Journal**. v. 7, p. 85-92, 2015. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2032-6653/7/1/85>. Acesso em: 02 jun. 2024.