



**AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

NATHALIA CRISTINA RODRIGUES SOEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**FACULDADE DE TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

NATHALIA CRISTINA RODRIGUES SOEIRA

ORIENTADOR: REINALDO CRISPINIANO GARCIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TRANSPORTES

**PUBLICAÇÃO: 001/2023
BRASÍLIA/DF: FEVEREIRO/2023**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NA MATRIZ
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

NATHALIA CRISTINA RODRIGUES SOEIRA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TRANSPORTES DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TRANSPORTES.

APROVADA POR:

**REINALDO CRISPINIANO GARCIA – PPGT/UNB
(ORIENTADOR)**

**SÉRGIO RONALDO GRANEMANN - PPGT/UNB
(EXAMINADOR INTERNO)**

**REGINALDO SANTANA FIGUEIREDO – UFG
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 25 de JANEIRO de 2023.

FICHA CATALOGRÁFICA

SOEIRA, NATHALIA CRISTINA RODRIGUES SOEIRA
AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DOS VEÍCULOS ELÉTRICOS NA
MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA. [Distrito Federal] 2023.
xii, 65p., 210x297mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Transportes, 2023).
Dissertação de Mestrado– Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
1 – Veículos Elétricos 2 – Simulação
3 – Cenários 4 – Matriz Energética
I – ENC/FT/UnB II – Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOEIRA, N. C. R. (2023). Avaliação da implementação dos veículos elétricos na matriz energética brasileira. Publicação T.DM-001/2023. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, p 77.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: NATHALIA CRISTINA RODRIGUES SOEIRA

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: Avaliação da implementação dos veículos elétricos na matriz energética brasileira.

GRAU: Mestre

ANO: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Nathalia Cristina Rodrigues Soeira

DEDICATÓRIA

*A minha Albenira e esposo Chris, pelo amor incondicional;
A minha família e amigos, pelo suporte;
A Universidade de Brasília, pela oportunidade e crescimento.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente, à Universidade de Brasília, à Faculdade de Tecnologia, ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental e ao Programa de Pós-graduação em Transportes (PPGT), também gostaria de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Agradeço ao Prof. Reinaldo Crispiniano Garcia por aceitar ser meu orientador, por todo aprendizado, pelo acolhimento, mesmo quando não sabia se conseguiria concluir esse trabalho e palavras de incentivo.

Gostaria também de agradecer ao Glauber por ser um amigo que sempre esteve ao meu lado durante os momentos mais difíceis do mestrado, sem ele nada disso seria possível.

A minha família por acreditar em mim e não me deixarem desistir.

RESUMO

Os veículos elétricos (VE) já são amplamente comercializados em todos os países e diversos estudos salientam a importância da introdução desses automóveis e de como eles podem ajudar os países a cumprirem o Acordo de Paris, assinado em 2015 cujo objetivo é reduzir os gases de efeito estufa para tentar controlar a temperatura do planeta. Circulam no Senado Brasileiro os Projetos de Lei 304/17 e 454/17 que tem por objetivo determinar a circulação e a venda dos veículos a combustão interna com prazos definidos a partir de 2030. O objetivo desta pesquisa foi identificar e analisar se o Brasil cumprirá o que está proposto nos Projetos de Lei, se aprovados. Para tal, utilizou-se da metodologia ARIMA para fazer uma previsão com base nos números dos BEV (*Battery Electric Vehicle*) e da geração de eletricidade no Brasil, assim como da correlação de Pearson para analisar se os crescimentos dos veículos elétricos estão relacionados com o aumento da energia solar fotovoltaica residencial. Os *softwares Microsoft Excel, Eviews e R* foram utilizados para encontrar estatísticas descritivas, correlações e as previsões para os 3 cenários. Este estudo contribuiu para o conhecimento existente sobre os VEs no Brasil, suas possibilidades, oportunidades econômicas e ambientais. Os resultados dos cenários base e cenário 1 mostram que o Brasil poderá cumprir o que está nos Projetos de Lei, em contrapartida os cenários 2 e 3 sugerem que em até 2060 o Brasil terá dificuldade em cumprir o proposto pelos Projetos de Leis. Partindo desse pensamento, torna-se essencial a criação de legislação específica para a área de eletromobilidade tendo um olhar no percurso com metas e objetivos claros e definidos para fortalecer de forma saudável a eletromobilidade no Brasil.

ABSTRACT

Electric vehicles (EV) are already widely sold in all countries and several studies highlight the importance of introducing these cars and how they can help countries to comply with the Paris Agreement, signed in 2015, whose objective is to reduce greenhouse gases to try to control the temperature of the planet. Bills 304/17 and 454/17 are circulating in the Brazilian Senate, which aim to determine the circulation and sale of internal combustion vehicles with deadlines defined from 2030. The objective of this research was to identify and analyze whether Brazil will comply what is proposed in the Bills, if approved. For this, the ARIMA methodology was used to make a forecast based on the numbers of BEV (Battery Electric Vehicle) and electricity generation in Brazil, as well as the Pearson correlation to analyze whether the growth of electric vehicles is related to the increase in residential photovoltaic solar energy. Microsoft Excel, Eviews, and R software were used to find descriptive statistics, correlations, and predictions for the 3 scenarios. This study contributed to the existing knowledge about EVs in Brazil, its possibilities, economic and environmental opportunities. The results of the base scenarios and scenario 1 show that Brazil will be able to comply with what is in the Bills, on the other hand scenarios 2 and 3 suggest that by 2060 Brazil will have difficulty complying with what is proposed by the Bills. Based on this thought, it is essential to create specific legislation for the electromobility area, looking at the path with clear and defined goals and objectives to strengthen electromobility in Brazil.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA	3
1.3	OBJETIVOS.....	3
1.3.1	Geral.....	3
1.3.2	Específico	3
1.4	JUSTIFICATIVA.....	3
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1	GERAÇÃO DE ENERGIA	6
2.2	ENERGIA RENOVÁVEL	8
2.2.1	Energia Solar	8
2.2.2	Energia Eólica	12
2.2.3	Energia Geotérmica	13
2.2.4	Energia Hidráulica.....	14
2.2.5	Energia Oceânica	15
2.2.6	Bioenergia	15
2.2.7	Energia Renovável no Brasil.....	16
2.2.8	Geração Distribuída.....	18
2.3	VEÍCULOS ELÉTRICOS	21
2.3.1	Infraestrutura de Carregamento.....	23
2.4	HISTÓRIA VEICULAR BRASILEIRA	25
2.5	LEGISLAÇÃO BRASILEIRA	26
3	MÉTODOS E MATERIAIS	30
3.1	ARIMA.....	30
3.2	CORRELAÇÃO DE PEARSON	31
3.3	IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO.....	32
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS	35
4.1	CORRELAÇÃO DE PEARSON	35
4.2	CENÁRIOS.....	37
5	CONCLUSÕES	51
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53
	APÊNDICE 1 – DADOS DO CRESCIMENTO DOS CARROS ELÉTRICOS BEV.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Classe e Modalidade de DMM no Brasil.....	18
Tabela 2.2 - Quantidade de VE no Brasil e <i>ranking</i>	23
Tabela 4.1 - Carros BEV mais vendidos no Brasil em 2021	38
Tabela 4.2 - Consumo Total dos carros BEVs (2021).....	39
Tabela 4.3 - Consumo de Energia no Brasil (GWh).....	40
Tabela 4.4 - Cenário Base com consumo de energia aumentando 2,5% (Conforme PDE2029)...	42
Tabela 4.5 - Cenário 1 com consumo de energia variando em $1,0\% \pm 0,5\%$	44
Tabela 4.6 - Cenário 2 com consumo de energia variando $4,0\% \pm 2\%$	46
Tabela 4.7 - Cenário 3 com consumo de energia variando em $6,0\% \pm 3,0\%$	48
Tabela 4.8 - Resumo dos Cenários	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Matriz Energética Mundial e Brasileira	7
Figura 2.2 - Matriz Elétrica Mundial e Brasileira.....	7
Figura 2.3 - Irradiação Global Horizontal Mundial. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019	9
Figura 2.4 - Irradiação Direta Normal. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019	10
Figura 2.5 - Potencial Energia Fotovoltaica. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019	11
Figura 2.6 - Projeção da Capacidade Instalada de Energia Eólica. Fonte: IRENA, 2019b	12
Figura 2.7 - Capacidade instalada de energia geotérmica em 2020. Fonte: RITCHIE <i>et al.</i> , 2022	13
Figura 2.8 - Geração de eletricidade da Noruega. Fonte: IRENA, 2022d	15
Figura 2.9 - Potencial Eólico <i>Offshore</i> do Brasil. Fonte: Global Wind Atlas 3.0, 2020.	17
Figura 2.10 - Potencial Fotovoltaico do Brasil. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019.	19
Figura 3.1- Fluxograma do modelo ARIMA. Fonte: Ning <i>et al.</i> , 2022	31
Figura 3.2 - Fluxograma da Implementação do Algoritmo	34
Figura 4.1 - Gráfico de Correlação de Pearson.....	35
Figura 4.2 - Gráfico crescimento BEV Brasil 2013 a 2022	37

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

<i>ABVE</i>	Associação Brasileira de Veículos Elétricos
<i>ANEEL</i>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<i>ANTT</i>	Agência Nacional de Transportes Terrestres
<i>BEV</i>	<i>Battery Electric Vehicle</i>
<i>COFINS</i>	Contribuição para Financiamento da Seguridade Social
<i>CSN</i>	Companhia Siderúrgica Nacional
<i>CSP</i>	<i>Concentrated Solar Power</i>
<i>DMM</i>	Microgeração e Minigeração Distribuída
<i>DNI</i>	<i>Direct Normal Irradiance</i>
<i>EPE</i>	Empresa de Pesquisa Energética
<i>FNM</i>	Fábrica Nacional de Motores
<i>FV</i>	Fotovoltaica
<i>GD</i>	Geração Distribuída
<i>GEE</i>	Gases do Efeito Estufa
<i>GEIA</i>	Grupo Executivo da Indústria Automobilística
<i>GHI</i>	<i>Global Horizontal Irradiance</i>
<i>GW</i>	Gigawatt
<i>HEV</i>	<i>Hybrid Electric Vehicle</i>
<i>ICMS</i>	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação
<i>Id</i>	Irradiância Difusa
<i>IEA</i>	Agência Internacional de Energia
<i>IRENA</i>	Agência Internacional de Energias Renováveis
<i>IPI</i>	Imposto sobre Produto Industrializado
<i>IPVA</i>	Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores
<i>JK</i>	Juscelino Kubitschek
<i>MME</i>	Ministério de Minas e Energia
<i>MW</i>	Megawatt
<i>NDC</i>	Contribuição Nacionalmente Determinada
<i>P&D</i>	Pesquisa e Desenvolvimento
<i>PBE</i>	Programa Brasileiro de Etiqueta Veicular
<i>PDE</i>	Plano Decenal de Expansão de Energia
<i>PHEV</i>	<i>Plug-in Hybrid Electric Vehicle</i>
<i>PIS</i>	Programa de Integração Social e de Formação do Patrimônio do Servidor Público
<i>PNE</i>	Plano Nacional de Energia
<i>ProGD</i>	Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica
<i>TWh</i>	Terawatt Hora
<i>V2G</i>	<i>Vehicle-To-Grid</i>
<i>VCI</i>	Veículo a Combustão Interna
<i>VE</i>	Veículo Elétrico

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão apresentados a contextualização do problema, o problema da pesquisa, os objetivos, a hipótese e a justificativa para a elaboração desta pesquisa.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

A história da humanidade está intrinsecamente ligada à energia, principalmente à produção, uso e armazenagem. No início, o uso da energia era a força do próprio homem, depois a força animal e a queima de biomassa, como madeira ou plantação. Com o advento da eletricidade e dos combustíveis fósseis, a forma de geração de energia mudou drasticamente. No século XVIII com o início da era industrial a concentração de CO₂ atmosférico subiu em 50 % sendo hoje de 420 ppm (partes por milhão), o que corresponde a 150% do seu valor correspondente em 1750 (NASA, 2022).

Ao longo dos anos, vários acordos e protocolos foram assinados, sendo o mais recente o Acordo de Paris em 2015, que visa reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) para limitar o aumento médio da temperatura global a 2°C (UNFCCC, 2018). Em setembro de 2015, por meio da NDC – Contribuição Nacionalmente Determinada, o Brasil se comprometeu a reduzir as emissões de GEE em 37% até 2025 e 43% até 2030 com base nos níveis de 2005 (NDC, 2015). De acordo com Chen *et al.*, (2022) para atingir a neutralidade de carbono, conforme o Acordo de Paris é indispensável o abandono dos combustíveis fósseis e a transição para energias renováveis. De acordo com o Parlamento Europeu (2022), a neutralidade de carbono significa “buscar o equilíbrio entre as emissões e absorção de carbono por sistemas naturais, o que faz com o que o saldo na atmosfera seja neutro.”

Segundo Ritchie *et al.* (2022a) a produção mundial de energia através da queima de combustíveis fósseis em 2021 foi de 64%. Em particular, o setor de transportes é responsável por 16,2% das emissões diretas e indiretas da queima de combustíveis fósseis. O transporte rodoviário representa 11,9% da queima de óleo e diesel (automóveis, caminhões, motocicletas e ônibus). Já o transporte de passageiros representa 60% das emissões de GEE e o transporte de mercadorias 40% (RITCHIE *et al.*, 2020).

Segundo Domingues *et al.*, (2013), o transporte rodoviário brasileiro representa cerca de 90,41% das emissões de CO₂ (ton./ano), o setor aéreo representa 5,45%, o marítimo 2,91% e o ferroviário apenas 1,23%. O transporte rodoviário no Brasil é responsável por 65% da movimentação de cargas no país (ANTF, 2020) sendo também responsável por um quarto das emissões globais de carbono, contribuindo com aproximadamente 50% da poluição do território urbano.

Com o objetivo de reduzir as emissões de GEE do transporte rodoviário, várias ações têm sido discutidas com o objetivo de promover o uso de veículos mais eficientes e limpos em todo o mundo. Consequentemente, houve um aumento na demanda por veículos mais eficientes, como híbridos, elétricos e combustíveis de baixa emissão, como etanol, hidrogênio e biodiesel (SAFAEI MOHAMADABADI *et al.*, 2009).

Uma das formas de diminuir os efeitos negativos da queima de combustíveis fósseis é eletrificar o setor de transporte, o que poderia reduzir as emissões globais de GEE em 11,9% (RITCHIE *et al.*, 2020). No setor de transportes, a participação das energias renováveis é a menor, pois o petróleo e seus derivados fornecem mais de 95% da energia nos transportes (REN21, 2021). A geração de energia a partir de fontes renováveis vem crescendo exponencialmente em todo o mundo, dentre elas a energia solar que é a mais indicada para auxiliar na transição do carvão para a geração renovável (KABIR *et al.*, 2018).

Nesse contexto, diversos estudos enfatizam que os Veículos Elétricos (VE) podem facilitar a introdução de energia renovável no sistema elétrico (LONGO *et al.*, 2018; PARSONS *et al.*, 2014). De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2029 do Brasil (PDE), o setor de transportes é líder em consumo de energia com 33% de participação e a atividade total de transporte de cargas deverá aumentar 3,4% a.a. entre 2019 e 2029 (BRASIL, 2020a).

Diante desse cenário, esta pesquisa visa fomentar a discussão e circulação dos veículos elétricos no Brasil, bem como instigar na população a conscientização na geração de energias renováveis levando em consideração os Projetos de Lei 304/17 e 454/17 em estudo no país.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

As inquietações nessa pesquisa são quanto ao futuro dos veículos elétricos no país, bem como a geração de energia sustentável. Diante disto o questionamento proposto é:

O Brasil cumprirá o que está proposto nos Projetos de Lei 304/17 e/ou 454/17 se aprovados?

1.3 OBJETIVOS

Como este trabalho envolve temas de geração e demanda nacional de eletricidade os seguintes objetivos foram traçados para confirmar a hipótese acima descrita.

1.3.1 Geral

Identificar e analisar se o Brasil cumprirá o que está proposto nos Projetos de Lei 304/17 e/ou 454/17, se aprovados.

1.3.2 Específico

- Desenvolver a revisão bibliográfica acerca da geração de energia, veículos elétricos e energias renováveis (mundial e nacional);
- Identificar a legislação que trata do assunto no Brasil;
- Verificar a relação entre o uso de veículos elétricos e a energia solar distribuída, utilizando a Correlação de Pearson;
- Analisar o impacto na matriz energética brasileira levando em consideração o crescimento dos VEs no Brasil por meio da metodologia de cenários.

1.4 JUSTIFICATIVA

De acordo com Brasil (2020a), os VEs terão diversos desafios em sua implantação no Brasil, principalmente em relação ao preço final do veículo, infraestrutura de recarga e regulação do uso de energia. Uma das formas de ajudar o país na transição para VE seria o uso da energia solar fotovoltaica (FV). Finn *et al.*, (2012) mostram que a combinação de geração de energia renovável com VEs resultaria na redução da demanda de pico e na minimização da geração convencional.

Apesar do crescimento acelerado da energia solar nos últimos anos, ainda existem muitas barreiras para sua adoção no país, como viabilidade de construção, restrições geográficas, falta de produção nacional de módulos fotovoltaicos (FV), custos do sistema, renda familiar e longo *payback* que varia de 6 a 23 anos (RIGO *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2017; SORGATO *et al.*, 2018). Da mesma forma, altos custos iniciais, falta de infraestrutura de recarga e barreiras de renda são impedimentos para a adoção de VEs no Brasil (GREENER, 2021; REZVANI *et al.*, 2015).

De acordo com o estudo de Jong *et al.*, (2019) projeta-se que até 2080 a radiação solar aumentará na maior parte do Brasil, principalmente na região Nordeste com uma média de 3,6% em relação aos níveis da década de 1970. Portanto, o Brasil precisa estabelecer um plano para aproveitar ao máximo a produção de energia limpa, principalmente em energia solar e eólica (RIGO *et al.*, 2019; CAMILO *et al.*, 2017).

Estudos anteriores de Kobashi e Yarime (2019) e Kobashi *et al.* (2020) realizados no Japão mostraram que o uso de VE junto com FV residencial é uma opção econômica com maior potencial para reduzir as emissões de CO₂ em comparação com apenas FV ou FV com baterias. Outro ponto a ser discutido é a questão da sustentabilidade. A sociedade busca cada vez mais soluções ecológicas e sustentáveis, pensando no futuro do planeta e das pessoas. O Brasil, sendo um país rico em diversidade, principalmente em riquezas naturais e climáticas, oferece um leque de possibilidades na construção de um mundo com melhor qualidade de vida.

Portanto, se seguirmos a linha de pensamento de Kobashi e Yarime (2019) e Kobashi *et al.* (2020) o país seria um forte candidato a garantir à sua população menos emissões de CO₂, mais geração de energia limpa e eletromobilidade.

De acordo com o Global EV Outlook 2022 (2022e) as vendas em países em desenvolvimento e emergentes têm sido lentas devido aos custos de compra mais altos e à falta de disponibilidade de infraestrutura de carregamento. Liu *et al* (2021) constataram que o BEV (Veículo Elétrico a Bateria) pode chegar ao custo de um VCI de até 7,7 anos se não incluir a instalação do carregador doméstico, caso contrário pode chegar a 14 anos. Há também a necessidade de discutir a economia

gerada aos cofres públicos com a adoção de VEs no transporte público e nas frotas governamentais, além de abordar tópicos como a troca dos combustíveis fósseis pela eletricidade e as consequências dessas ações. Portanto, é preciso um olhar amplificado e visionário sobre o futuro do país no quesito transporte e sustentabilidade.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação tem em sua composição elementos pré-textuais, itens do texto e item de pós- texto. Entre os itens de texto existem cinco capítulos compostos por subtópicos. Cada capítulo aborda assuntos diferentes, porém interligados, conforme descrito abaixo:

§ Capítulo 1 - Introdução: Contextualizar o tema apresentando o problema de pesquisa, assim como, os objetivos, a hipótese, e a justificativa do tema proposto.

§ Capítulo 2 – Revisão de Literatura sobre os temas que inclui geração de energia, energia renovável e veículos elétricos, bem como a Legislação Brasileira que ampara estes temas.

§ Capítulo 3 – Metodologia usada para o desenvolvimento do estudo da projeção de cenários assim como a Correlação de Pearson.

§ Capítulo 4 - Análise dos resultados obtidos utilizando a metodologia do capítulo anterior.

§ Capítulo 5 – Conclusões discutindo as análises geradas a partir dos resultados com conclusões e sugestões para futuros trabalhos.

O próximo capítulo abrange a Revisão da Literatura sobre os temas propícios para o trabalho expondo questões primordiais para agregar conhecimentos relevantes para esta pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo de Revisão Bibliográfica serão abordados temas importantes para o desenvolvimento da pesquisa, como geração de energia, energia renovável e seus tipos, assim como os veículos elétricos e suas características.

2.1 GERAÇÃO DE ENERGIA

A geração de energia desde a Revolução Industrial vem se baseando principalmente na queima de combustíveis fósseis, permitindo assim, um rápido desenvolvimento tecnológico da sociedade. Conforme IEA (2021a), o setor de energia é o principal responsável pelo aumento das temperaturas globais em mais de 1° C considerando índices pré-industriais. Em 2020, o setor de energia foi o responsável por mais de 73% das emissões de GEE, por meio dos combustíveis fósseis, resultando na emissão de 34,81 bilhões de toneladas de GEE (RITCHIE *et al.*, 2022b).

De acordo com a Empresa de Pesquisa Nacional (EPE, 2022) existe uma diferença entre Matriz Energética e Matriz Elétrica. A primeira representa o conjunto de matérias-primas utilizadas para a realização de diversas atividades, como gasolina para automóveis e gás para cozinhar. Ou seja, é o conjunto de fontes disponíveis para suprir a demanda energética de cada país ou estado. Já a Matriz Elétrica é formada exclusivamente pelas fontes disponíveis para geração de energia elétrica.

Conforme afirma a IEA (2022b), mostrada na Figura 2.1, a matriz energética mundial é composta em sua maioria por fontes não-renováveis, como 29,5% de petróleo e derivados, 26,8% de carvão mineral, 23,7% de gás natural e 5% nuclear. Enquanto isso, a matriz energética brasileira utiliza petróleo e derivados (34,4%), carvão mineral (5,6%), gás natural (13,3%), nuclear (1,3%) e outras não-renováveis (0,6%) (EPE, 2022). A matriz energética mundial é composta por 85% de fontes não-renováveis, enquanto a brasileira com 51,6%. Assim, a oferta de energia brasileira é mais renovável que a global, representando 48,4% brasileira contra 15% de mundial.

Ao comparar a matriz elétrica mundial e a brasileira na Figura 2.2, fica clara a diferença entre as duas formas de geração de energia, pois mais da metade da geração de eletricidade no Brasil é

proveniente de hidráulica (57%), enquanto a global é proveniente de carvão mineral (35%) e gás natural (23,6%). Assim, a rede elétrica brasileira também é mais renovável que a global, com 82,9% brasileira contra 28,6% mundial (IEA, 2022b e EPE 2022).

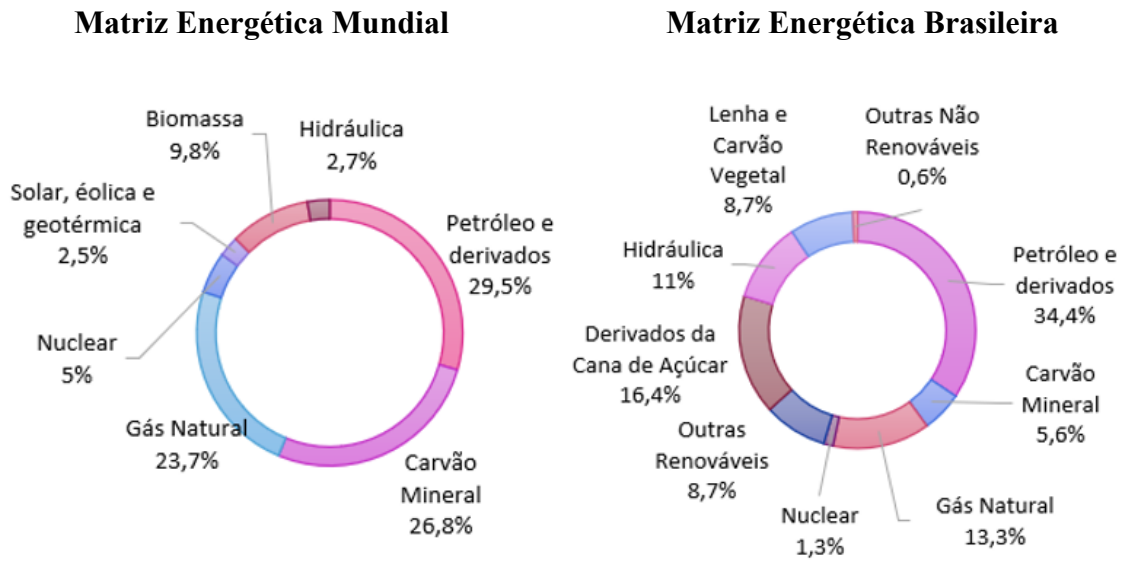


Figura 2.1- Matriz Energética Mundial e Brasileira

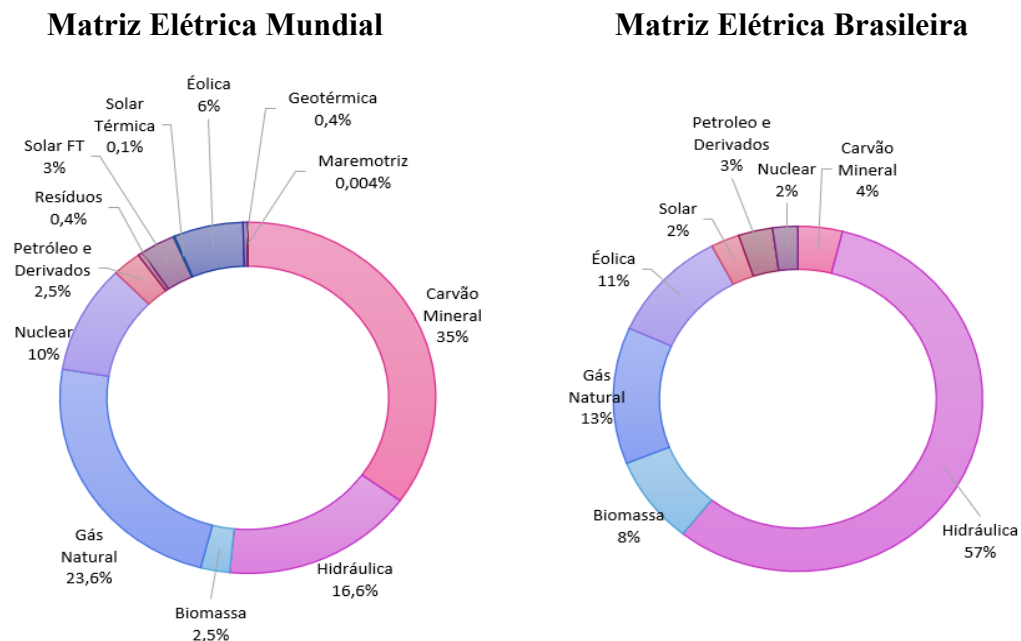


Figura 2.2 - Matriz Elétrica Mundial e Brasileira

O Plano Nacional de Energia 2050 (PNE) é um documento do Ministério de Minas e Energia que compreende um conjunto de estudos e diretrizes para o planejamento de longo prazo para o setor energético brasileiro (BRASIL, 2020a). No PNE são citados vários desafios que a implementação da eletromobilidade trará para o País, como impactos na rede elétrica, a ampliação da rede de recarga veicular, os aspectos socioeconômicos e a relação do mercado automotivo brasileiro em relação ao mercado mundial (BRASIL, 2020a).

2.2 ENERGIA RENOVÁVEL

Energia renovável é a energia produzida por meio de fontes naturais que são restabelecidas a uma maior taxa do que são consumidas, como o sol e o vento e vem de fontes inesgotáveis e limpas (ONU, 2022). De acordo com o IEA (2022c), a energia renovável tem grande potencial para reduzir os preços e a dependência dos combustíveis fósseis a médio e longo prazo.

A produção de energia renovável gera emissões muito menores de GEE do que a de combustíveis fósseis, sendo assim fundamental uma transição para energia renovável para enfrentar a crise climática (ONU, 2022). Vale ressaltar que a transição para energias limpas se tornou cada vez mais relevante e indispensável, principalmente na Europa, devido à atual crise global energética. Por sua vez, a energia eólica e solar fotovoltaica tem a capacidade de diminuir a dependência europeia em relação ao gás natural da Rússia até 2023 (IEA, 2022a).

Dentre as fontes de energias renováveis pode-se citar a solar, eólica, geotérmica, hidráulica, oceânica e bioenergia. Neste sentido serão feitas explanações sobre estes diferentes tipos de energias renováveis.

2.2.1 Energia Solar

Energia Solar é a mais abundante de todos os recursos energéticos, podendo ser aproveitada até em tempo nublado. É utilizada para promover calor, iluminação natural, eletricidade, aquecimento e combustível (IRENA, 2022a). Fatores como latitude, clima, posicionamento geográfico e variação

diurna influenciam na quantidade de energia solar recebida pela Terra (KABIR *et al.*, 2018). Para mensurar a quantidade de energia solar (medida em Wh/m²) que efetivamente chega à Terra deve-se verificar a irradiância global horizontal (GHI, do inglês *Global Horizontal Irradiance*) e seus elementos, a irradiância normal direta (DNI, do inglês *Direct Normal Irradiance*) e a irradiância difusa (Id).

A GHI é a soma da DNI e Id, utilizada principalmente pelas usinas fotovoltaicas, que precisam tanto dos componentes difusos quanto dos feixes da irradiância solar. Na Figura 2.3 é possível observar que grande parte dos países tem potencial de geração de energia solar por meio das usinas fotovoltaicas. As exceções seriam os países mais ao norte como Canadá, Rússia, países nórdicos e países bálticos.

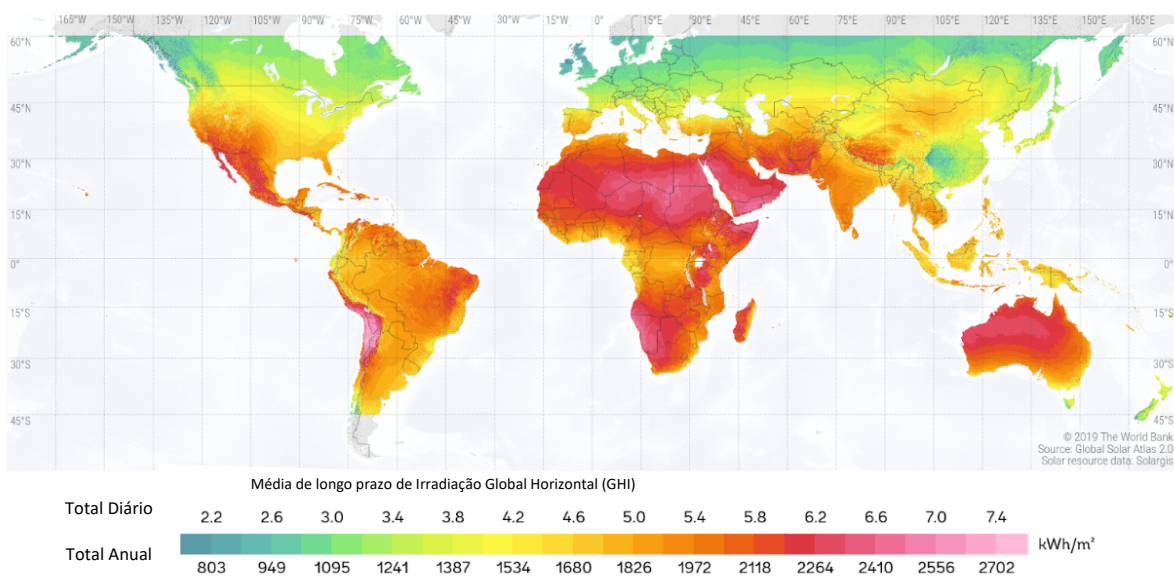


Figura 2.3 - Irradiação Global Horizontal Mundial. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019.

Já a DNI é a energia total recebida em uma unidade de área de superfície voltada diretamente para o sol em todos os momentos, sendo observada na Figura 2.4. O DNI é utilizado por instalações solares que rastreiam o sol e por tecnologias de concentração solar (visto que as tecnologias de concentração só podem fazer uso do componente direto da irradiação). Já a Id é dispersada pelas nuvens e não tem direção definida, atingindo a superfície terrestre depois de sofrer o processo de difusão (GELSOR, *et al.*, 2018, LEMOS *et al.*, 2017, LOPES *et al.*, 2018, OLIVEIRA, 2001, ROJAS *et al.*, 2019).

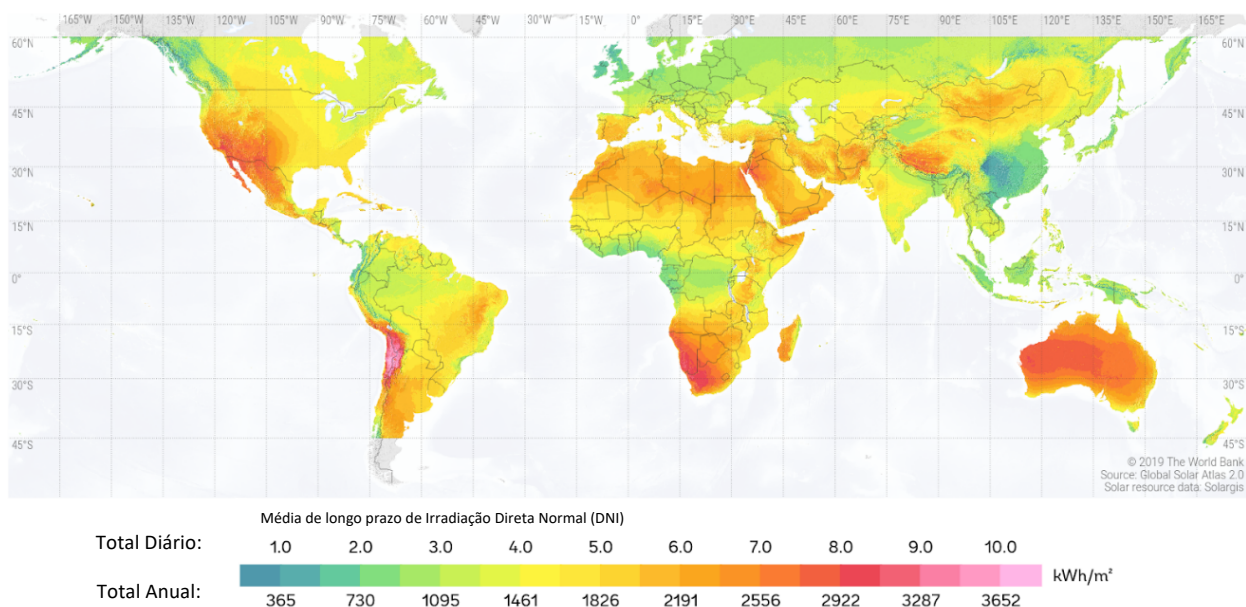


Figura 2.4 - Irradiação Direta Normal. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019.

Ainda que todos os países não sejam favorecidos na mesma quantidade de energia solar é possível sim, uma contribuição relevante para a matriz energética e elétrica. É importante considerar quais dessas componentes serão utilizadas (GHI, DNI e Id), a fim de se ter uma coleta eficiente de energia considerando os tipos de equipamentos utilizados, principalmente em circunstâncias de céu limpo. (LOPES *et al.*, 2018, ROJAS *et al.*, 2019). Os equipamentos necessários para a captação de Energia Solar são separados em dois tipos, as Placas Fotovoltaicas (FV) e Energia Solar Concentrada (sigla em inglês- CSP- *Concentrated Solar Power*).

As FV são ferramentas que transformam a energia solar em eletricidade e podem ser usadas em comércios, residências, viabilizando assim, o acesso a eletricidade até em locais mais remotos e afastados das linhas de transmissão (IRENA, 2022a). O custo das FV tem decrescido nas últimas décadas, mas é esperado que os custos associados a elas perdurem mais altos em 2022 e 2023 do que nos anos anteriores à pandemia em razão do aumento dos preços de commodities e frete. Apesar do aumento, sua competitividade é melhor graças a aumentos superiores do gás natural e carvão (IEA, 2022d).

Por sua vez, as usinas de energia solar concentrada (CSP) absorvem a radiação direta através de espelhos, transformando a radiação em energia térmica. Por meio da energia térmica o fluido é aquecido, gerando vapores que acionam turbinas e geradores, por fim produzindo eletricidade. Em sua maioria apresentam um campo de espelhos e uma torre alta e fina. Uma peculiaridade da CSP é a necessidade que o local de instalação tenha incidência mínima de 2.000 kWh m² de radiação DNI, para que seja praticável a geração de eletricidade (IEA, 2019, IRENA, 2019a).

Uma de suas principais vantagens sobre a FV é que a CSP pode ser integrada com sistemas de armazenamento térmico e plantas de combustíveis fósseis ou renováveis, permitindo a geração de energia elétrica mesmo em períodos sem sol (GURGEL, 2020).

Atualmente, a energia FV é uma das ferramentas de tecnologia limpa de maior crescimento e desempenha um papel importante na transição de energia fóssil para renovável. Na Figura 2.5 é possível visualizar o grande potencial desse tipo de tecnologia ao redor da Terra.

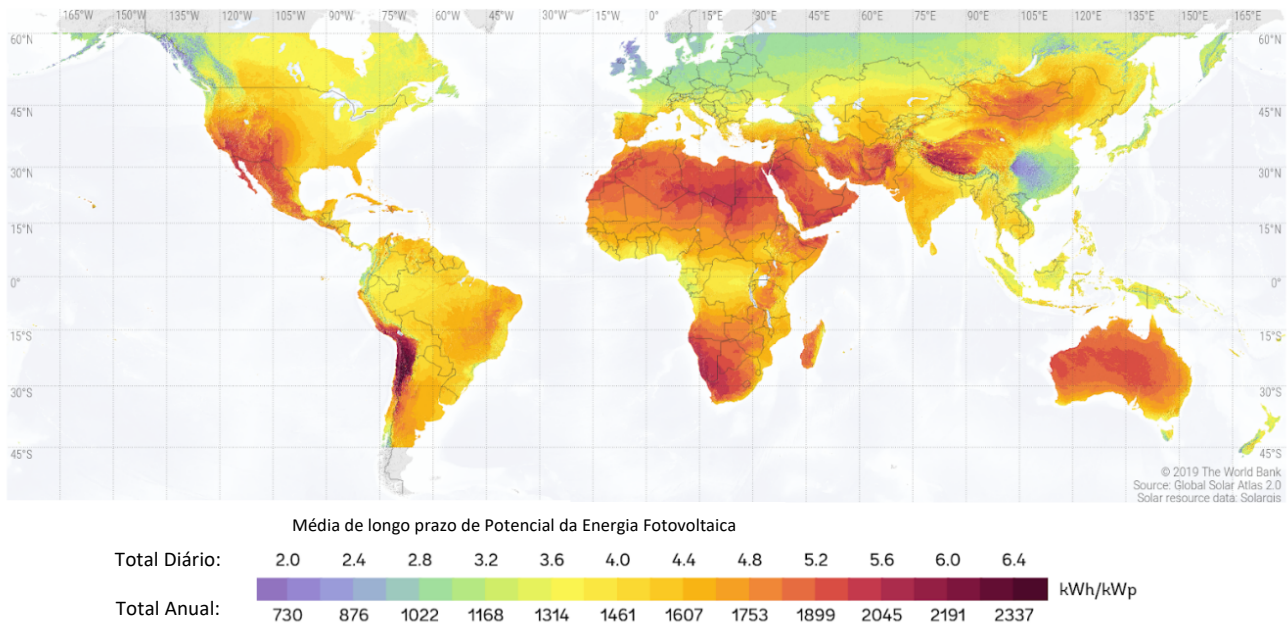


Figura 2.5 - Potencial Energia Fotovoltaica. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019.

2.2.2 Energia Eólica

A energia eólica utiliza a energia cinética do ar usando grandes turbinas localizadas em terra (*onshore*, termo do inglês) ou no mar/água doce (*offshore*, termo do inglês). Sendo uma das energias renováveis mais viáveis, pois pode ser colhida com poucas restrições quanto à localização, em comparação com solar ou hidro, o que a torna mais sustentável (CHIEN *et al.*, 2021). O *payback* de uma turbina eólica é de apenas alguns meses e é a única fonte renovável que pode ser utilizada em larga escala comparável a outras fontes de energia convencionais (TABASSUM-ABBASI *et al.*, 2014, SAIDUR *et al.*, 2011, YANG *et al.*, 2016). Apesar do rápido *payback*, problemas no processo de geração, armazenamento e transporte são encontrados.

O progresso da energia eólica envolve questões de sustentabilidade ambiental, econômica e social (WANG *et al.*, 2020). Dentre eles, pode-se citar impactos na vida das aves, poluição sonora e poluição visuais. Durante a pandemia de Covid-19 instalações de energia eólica foram afetadas por conta de interrupções na cadeia de suprimentos, escassez de trabalhadores e, claro, regras sanitárias (WWEA, 2020). Apesar disso, aproximadamente 93 GW de energia eólica foram instalados globalmente em 2020, com China e EUA responsáveis por mais de 74% de instalações de energia eólica. De acordo com as projeções da Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA, 2019b) a capacidade instalada *onshore* de energia eólica crescerá mais de 3 vezes até 2030 e 10 vezes até 2050, considerando níveis de 2018, conforme demonstra a Figura 2.6.

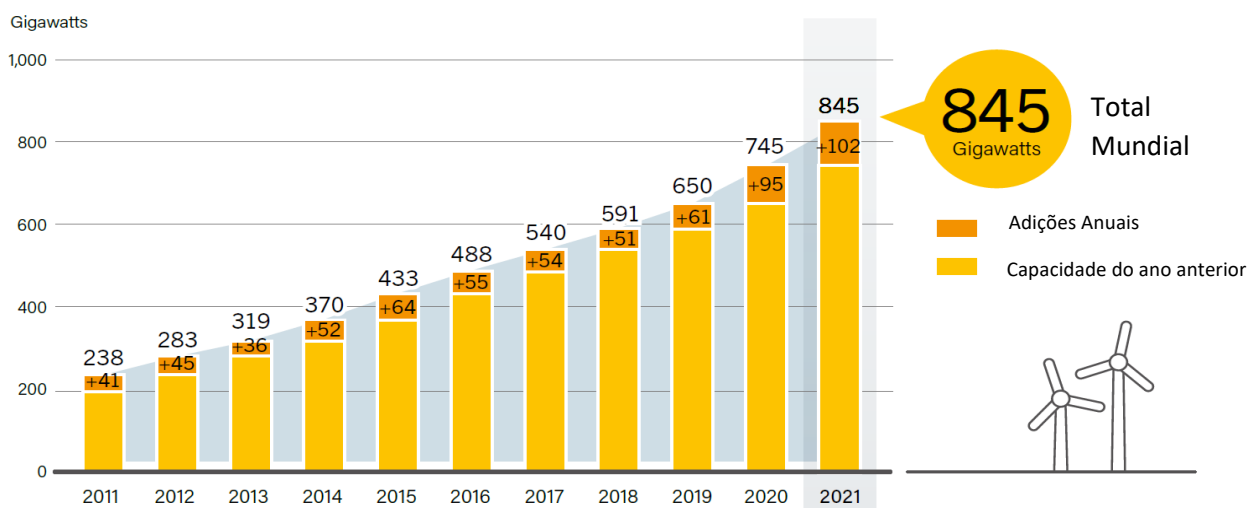


Figura 2.6 - Projeção da Capacidade Instalada de Energia Eólica. Fonte: IRENA, 2019b.

Embora o crescimento da energia eólica seja visto com esperança para um futuro mais limpo, os desafios para o crescimento dessa tecnologia são encontrados como a falta de infraestrutura de rede elétrica (muitas vezes indisponível ou desatualizado) e licenciamento (GLOBAL WIND REPORT, 2022). As políticas energéticas podem desempenhar um papel fundamental para incentivar cada vez mais o uso de energias renováveis. A fim de aproveitar todo o potencial que a energia eólica tem é necessário o desenvolvimento de turbinas, da rede elétrica, assim como de políticas de uso do solo e acordos públicos.

2.2.3 Energia Geotérmica

Por sua vez, a energia geotérmica utiliza o calor do interior da Terra e diferenciais de pressão na crosta terrestre para fornecer calor ou gerar eletricidade. Água e/ou vapor transferem energia geotérmica para a superfície da Terra, podendo ser usada para fins de resfriamento, aquecimento ou gerar eletricidade, conforme suas propriedades. Em países como Islândia, El Salvador, Nova Zelândia, Quênia e Filipinas, a energia geotérmica supre uma grande parcela da demanda elétrica. A geração de eletricidade por meio de reservatórios hidrotérmicos é conhecida desde o início do século XX e sua principal vantagem é que não depende das condições meteorológicas. Atualmente é amplamente utilizada no aquecimento urbano, em bombas de calor geotérmica e estufas (IRENA, 2022b e REN21, 2022). Na Figura 2.7 observa-se a capacidade instalada de geração de energia geotérmica em 2020 mundial

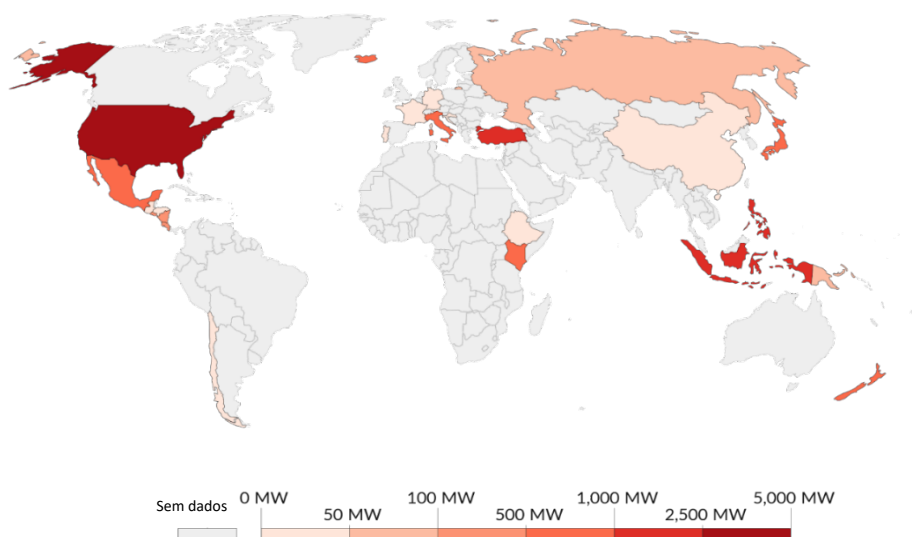


Figura 2.7 - Capacidade Instalada de Energia Geotérmica em 2020. Fonte: RITCHIE *et al.*, 2022a.

De acordo com o REN21 (2022), a geração de eletricidade em 2021 foi de aproximadamente de 99 TWh, com o total global de 14,5 GW. Os países com maior capacidade de geração de eletricidade por meio da energia geotérmica são os EUA (2,5 MW), Indonésia e Filipinas (2 MW), Turquia (1,5 MW), Nova Zelândia e México (1 MW), Quênia, Itália e Islândia (0,8 MW), Japão com 600MW e o resto do mundo 1MW (conforme Figura 2.7).

2.2.4 Energia Hidráulica

A energia hidráulica/ hidrelétrica é derivada da água corrente e pode ser gerada a partir de reservatórios e rios. O princípio básico na geração de eletricidade por meio da água é o acionamento de turbinas com o movimento da água. As hidrelétricas compreendem duas formações, uma com barragens e reservatórios e outra sem (ONU, 2022).

As hidrelétricas com barragens normalmente têm diversos usos, como fornecimento de água potável, irrigação para plantações, controle de enchentes e secas, assim como, geração de eletricidade. Já as sem barragens e reservatórios têm uma produção reduzida, pois operam em um rio sem interferir em seu fluxo, dependendo única e exclusivamente do movimento do rio. Tornando-se uma opção mais ecológica, pois não altera o curso do rio para a geração de eletricidade.

Um ponto negativo desse tipo de energia é a dependência do clima, e pode ser impactado negativamente por secas e/ ou mudanças que afetam o ciclo de chuva. A maior usina hidrelétrica do mundo é a Barragem de Três Gargantas, de 22,5 gigawatts, na China. Produz de 80 a 100 Terawatts-hora por ano, o suficiente para abastecer entre 70 milhões e 80 milhões de residências.

Atualmente é a maior fonte de geração de eletricidade com mais de 60% de representação mundial, totalizando a produção de mais de 4.202 TWh de eletricidade em 2021(IEA, 2022d). A Noruega é o país que mais utiliza desse tipo de geração de energia, com 91% representando mais de 140.927 GWh como mostra a Figura 2.8.

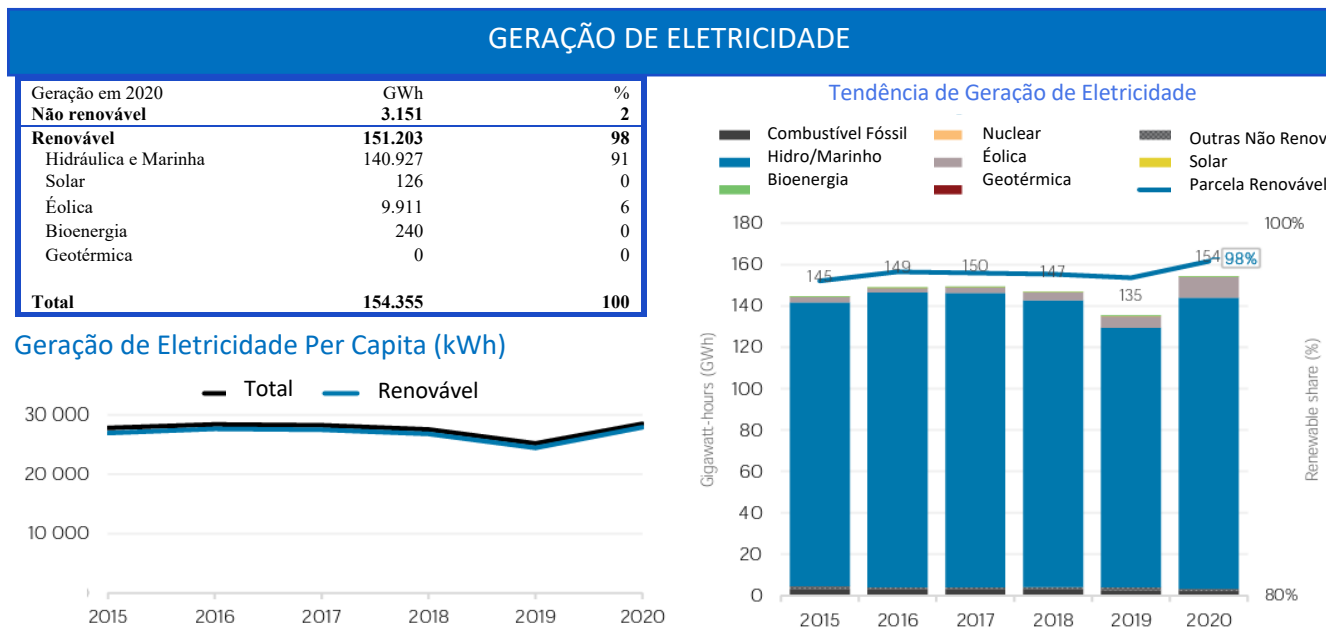


Figura 2.8 - Geração de eletricidade da Noruega. Fonte: IRENA, 2022d.

2.2.5 Energia Oceânica

É a que usa a água do mar, principalmente as ondas, marés e correntes para produzir eletricidade. Segundo o IRENA (2022c), esse tipo de tecnologia não é comercializada, pois está em fase de pesquisa e desenvolvimento. A energia oceânica inclui estas:

- Energia das ondas, conversores captam a energia nas ondas do mar para gerar eletricidade;
- Energia das marés, utilizam barragem/barreiras na geração de energia entre a maré alta e a maré baixa;
- Energia do gradiente de salinidade, utiliza variantes nas concentrações de sal;
- Conversão de energia térmica que gera energia a partir da variação de temperatura entre a água do mar de superfície e de profundidade.

2.2.6 Bioenergia

A bioenergia pode ser dividida em duas classes. A primeira é a tradicional que é a energia produzida através da combustão de materiais orgânicos, como madeira, carvão vegetal, adubos com o objetivo de produzir calor e energia. Já a segunda é a moderna, relacionada a biocombustíveis produzidos a partir do bagaço de plantas, de biorrefinarias, de biogás entre outras tecnologias. A maior parte da

biomassa é usada em áreas rurais para cozinhar, iluminar e aquecer ambientes, geralmente por populações mais pobres em países em desenvolvimento (ONU, 2022).

A energia criada pela queima de biomassa cria emissões de gases de efeito estufa, mas em níveis mais baixos do que a queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo ou gás. No entanto, a bioenergia só deve ser usada em aplicações limitadas, devido aos potenciais impactos ambientais negativos relacionados ao aumento em grande escala das plantações florestais e de bioenergia, e consequente desmatamento e mudança no uso da terra.

O Brasil é líder em biocombustíveis líquidos e possui a maior frota de veículos flexíveis, que podem rodar com bioetanol. O bioetanol é um álcool produzido principalmente pela fermentação de carboidratos em culturas de açúcar ou amido, como milho, cana-de-açúcar ou sorgo sacarino (BRASIL, 2021d).

2.2.7 Energia Renovável no Brasil

A rede elétrica brasileira possui atualmente cerca de 83% de sua energia proveniente de fontes renováveis, enquanto o mundo utiliza o equivalente a 29% (EPE, 2022). Além disso, o Brasil possui um potencial de geração de energia elétrica de 172 Gigawatts (GW) a partir de fontes hídricas, 440,5 GW de fontes eólicas e 164,1 GW de fontes solares em residências com Geração Distribuída (SAUAIA, 2019).

Outra fonte renovável que vem crescendo no Brasil é o biogás e o biometano, de acordo com a Associação Brasileira de Biogás (ABIOGÁS, 2022) são definidos como:

“o biogás é obtido a partir da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos da indústria sucroenergética (palha, bagaço, vinhaça e torta de filtro), da cadeia da proteína animal (dejetos de animais, resíduos de abatedouro e laticínios), da agricultura (casca de soja, milho, indústria da mandioca) e do saneamento (resíduos sólidos urbanos e estações de tratamento de efluentes)”.

O biogás pode ser utilizado na geração de calor, geração de eletricidade, operando como uma termelétrica a gás natural 100% renovável ou se purificado será transformado em biometano que é

um biocombustível gasoso composto basicamente de metano, equivalente ao gás natural fóssil (ABIOGÁS, 2022). Ainda de acordo com dados das Abiogás (2022), é estimado que o potencial elétrico proveniente do biogás é de 19 GW, no entanto somente 2% desse potencial é aproveitado atualmente (375 MW) e que a utilização do biogás e do biometano tem potencial energético suficiente para substituir quase 70% do diesel consumido no país ou poderia suprir 34,5% da demanda elétrica.

Além do biogás o Brasil tem um potencial na geração de eletricidade através da energia eólica tanto *offshore* e *onshore*. De acordo com a Figura 2.9 é possível observar o potencial *offshore* do litoral brasileiro nas modalidades fixo (profundidade menor que 5 metros) e flutuante (profundidade menor que 100 metros). De acordo com dados da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica, 2021) em 2021 a capacidade total instalada *onshore* no Brasil foi de 21,5 GW, ficando na sexta posição no *ranking* mundial.

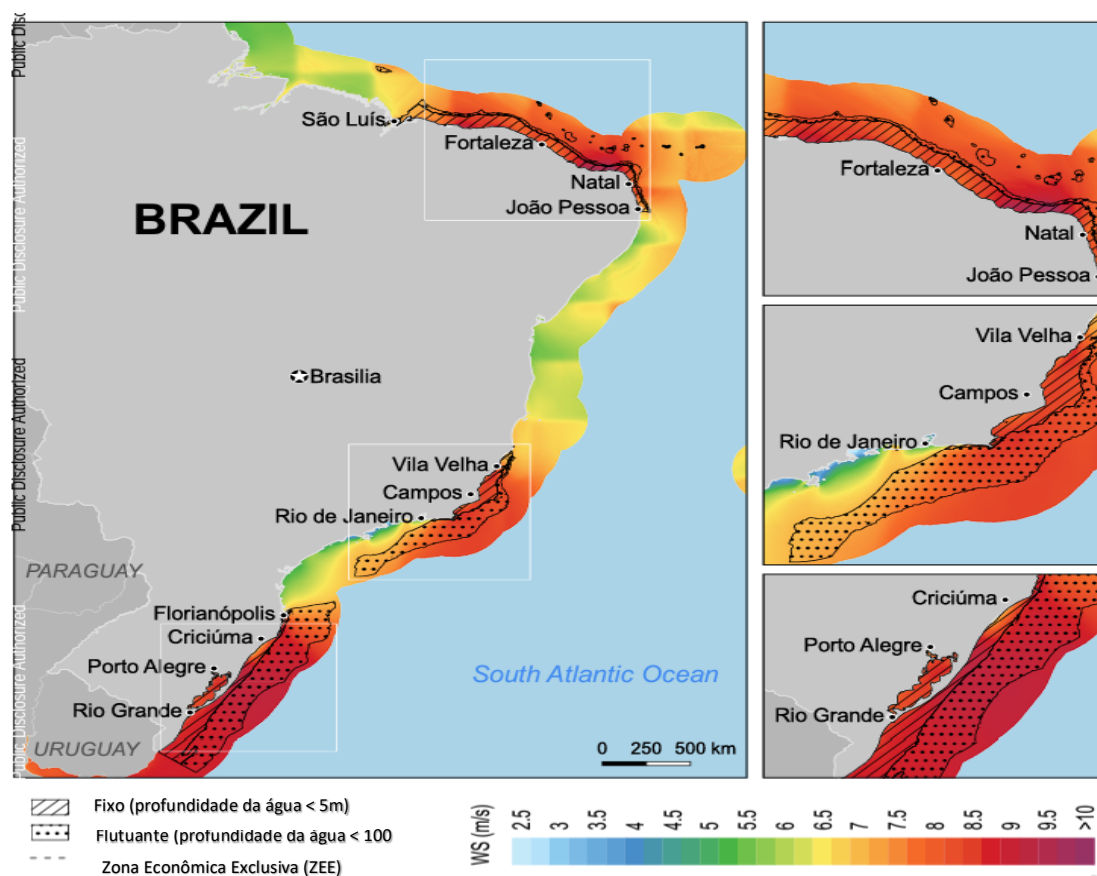


Figura 2.9 - Potencial Eólico Offshore do Brasil. Fonte: Global Wind Atlas 3.0, 2020.

Outra fonte de energia renovável que está expandindo no Brasil nos últimos anos é a Geração Distribuída, que será discutida a seguir.

2.2.8 Geração Distribuída

Geração Distribuída (GD) é a instalação de pequenos geradores, de fontes renováveis ou combustíveis fósseis, localizados próximos aos centros de consumo e conectados à rede de distribuição por meio de unidades consumidoras, o que permite a troca de energia elétrica com a empresa de energia da região (ANEEL, 2016). Assim, em 2016 o GD foi subdividido e gerou a Microgeração e Minigeração Distribuída – DMM (ANEEL, 2015). A Microgeração é caracterizada por geradores com potência instalada de até 75 quilowatts (KW) e Minigeração com potência entre 75 KW e 5 Megawatts (MW).

Dentre as fontes renováveis (biomassa, biogás, hidrelétrica, eólica etc.) utilizadas em GD, a fotovoltaica (FV) é a que mais se destaca em número de unidades consumidoras e conseqüentemente em potência instalada até outubro de 2021 resultando em 99,92% (ANEEL,2022a). Na Tabela 2.1 é possível observar as classes em que os GDs estão subdivididos e seus respectivos percentuais, bem como as modalidades praticadas no Brasil. Além disso, é importante destacar que quase 50% das unidades de GDs estão em residências brasileiras, totalizando mais de 8.334.395 kW o que equivale a 8,3GW de potência instalada.

Tabela 2.1- Classe e Modalidade de DMM no Brasil

Classe	Potência Instalada (kW)	%	Modalidade	Potência Instalada (kW)	%
Residencial	8.334.395,66	49,18	Geração na Própria UC	13.068.531,89	77,12
Comercial	4.822.283,24	28,46	Autoconsumo Remoto	3.775.462,14	22,28
Rural	2.471.258,42	14,58	Geração Compartilhada	93.791,19	0,55
Industrial	1.132.228,92	6,68	Múltiplas Ucs	6.890,08	0,04
Poder Público	167.965,81	0,99			
Serviço Público	14.733,19	0,09			
Iluminação Pública	2.242,43	0,01	*UC= Unidade Consumidora		
Total	16.945.107,67		Total	16.944.675,30	

Fonte: ANEEL, 2022a.

O Ministério de Minas e Energia – MME lançou em 2015 o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica – ProGD com o objetivo de estimular e expandir a GD nos setores público, comercial, industrial e residencial, com ênfase em FV (BRASIL, 2015). O Brasil tem um alto nível de incidência solar (Figura 2.10) e recebe mais de 3.000 horas de luz solar por ano, com média entre 3.500 e 6.250 Watt-hora/m² (Wh/m²) por dia (PEREIRA *et al.*, 2017). Apesar desse abundante potencial energético, o país ocupa atualmente a 16^a posição no *ranking* mundial em energia solar (ABSOLAR, 2020). A subutilização do potencial natural do Brasil é evidente, o que reforça que a energia fotovoltaica é uma excelente opção para quem quer ser mais sustentável.

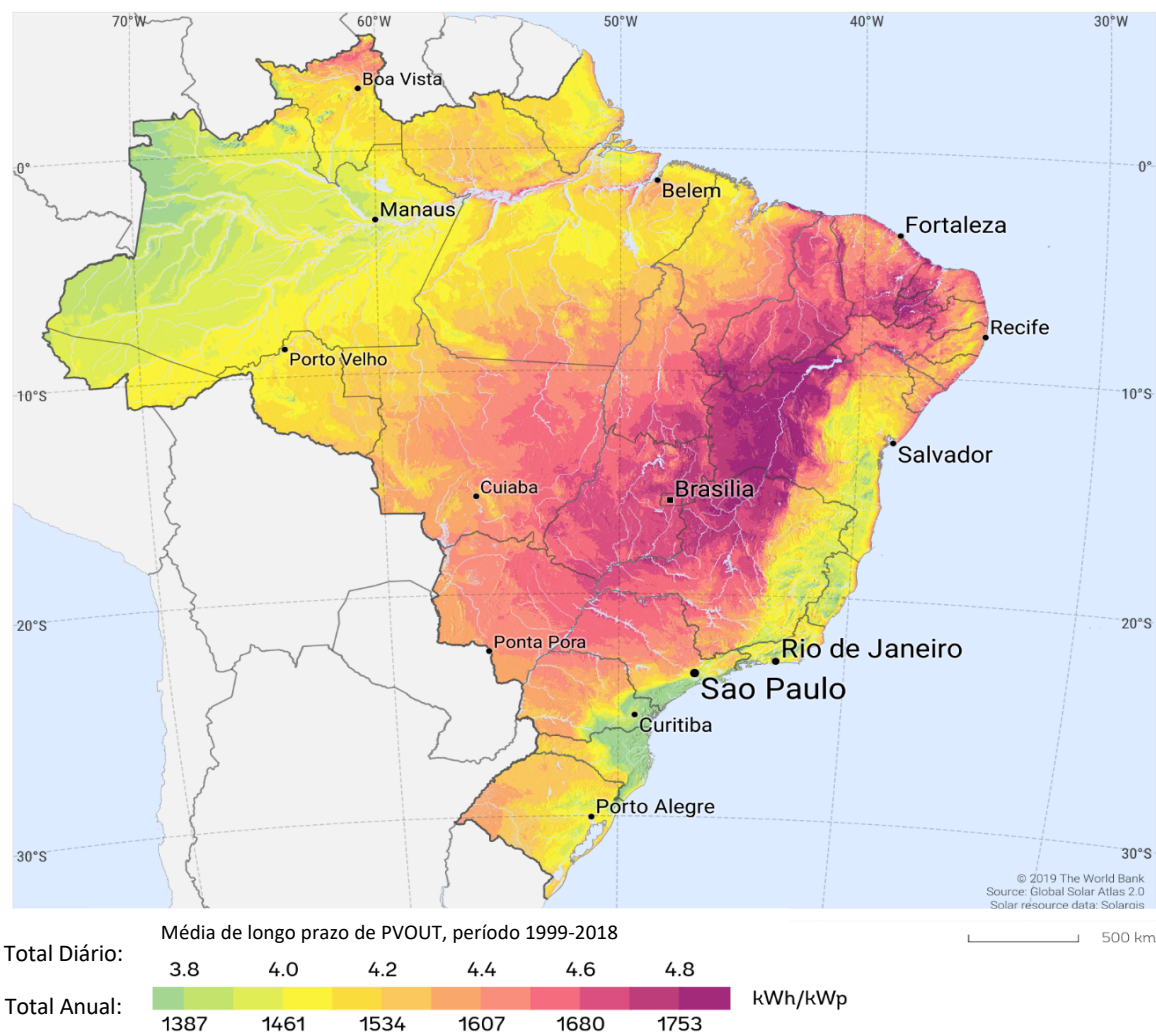


Figura 2.10 - Potencial Fotovoltaico do Brasil. Fonte: Global Solar Atlas 2.0, 2019.

Em 2020, a energia fotovoltaica ultrapassou 1 GW de potência instalada em Microgeração e Minigeração Distribuída (DMM). Esse avanço só foi possível pela regulamentação da ANEEL (Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015) e pelo ProGD (BRASIL, 2020b; ANEEL, 2019). Os estados que mais adotaram o DMM foram Minas Gerais com 16,7 mil unidades consumidoras e 212,3 MW de capacidade instalada, Rio Grande do Sul com 12 mil unidades, 144,4 MW e São Paulo com 14,5 mil unidades e 117,4 MW (ANEEL, 2019). De acordo com dados da ANEEL, o número total de unidades consumidoras FV no GD de 2008 a 5 de outubro de 2021 é de 620.222 unidades com potência instalada superior a 7 GW. A maior parcela vem do setor residencial com 470.341 unidades e potência de 2,9 GW (ANEEL, 2022a).

A Empresa de Pesquisa Energética – EPE, produz um anuário estatístico com informações sobre a cadeia elétrica no Brasil e destaca o consumo de energia elétrica, informações regionais e das unidades federativas. No último anuário, referente a 2020, o consumo médio anual brasileiro foi de 475 Terawatt-hora (TWh) e o consumo residencial foi de 148.173 Gigawatt hora (GWh), um aumento de 3,8% em relação a 2019 (BRASIL, 2021b).

No Plano Decenal de Energia 2029 (PDE) produzido pela EPE, projeta-se que o consumo de energia elétrica cresça a uma taxa média de 2,5% ao ano até 2029. O consumo per capita crescerá 1,9% e o consumo residencial deverá atingir 200 quilowatts-hora/mês e o total da demanda energética do setor de transportes aumentará cerca de 2,4% ao ano até 2029 (BRASIL, 2020b).

Em 2018, a energia solar fotovoltaica movimentou mais de 2 bilhões de reais em investimentos e estima-se que em 2029 a capacidade instalada chegue a 32 GW, caso não haja alteração na regulamentação atual. Caso haja alguma mudança, como a aplicação de uma tarifa binomial, a projeção será de 11 GW. Ainda, de acordo com o PDE, a geração de energia elétrica prevista em 2029 será composta por hidrelétrica 51%, eólica 18%, gás natural 16%, biomassa 7%, solar 5% e os 3% remanescentes corresponderão a energia nuclear, carvão, diesel e óleo. A capacidade instalada em 2029 será de solar FV 86%, Hidrelétrica 8%, Termelétrica 5% e eólica (BRASIL, 2020b).

Embora o Brasil tenha mais de 60% da energia gerada por hidrelétricas, o país tem um alto custo de energia elétrica causado por altos impostos (taxas federais, estaduais, municipais e setoriais) que representam mais de 47% do valor da conta de luz no país (PWC, 2019). Em 2019, o preço médio da energia elétrica no país foi de aproximadamente R\$ 512 por Mega watt-hora (JAGANMOHAN, 2021).

Nos últimos anos, a queda nos custos fotovoltaicos tem sido perceptível (SORGATO *et al.*, 2018) uma vez que a Agência Internacional de Energia – IEA – e a Agência Internacional de Energias Renováveis – IRENA – apontaram uma queda nos módulos fotovoltaicos de 2009 a 2020 em 90% e a IRENA indicou uma redução de 74% nos custos de investimento (IEA, 2020; IRENA, 2021). Portanto, isto deve favorecer o aumento do uso da energia solar FV no futuro.

2.3 VEÍCULOS ELÉTRICOS

Como o setor de transporte é um dos responsáveis pelos GEE, muitas estratégias foram traçadas ao longo dos anos para reduzir esses números, como novas tecnologias veiculares, por exemplo, veículos híbridos, veículos elétricos *plug-in* e a bateria (ZHU *et al.*, 2016; GÖRANSSON *et al.*, 2010). Outro foco foi a melhoria da eficiência de combustível para reduzir a intensidade do consumo de energia nos veículos (biocombustível, álcool e hidrogênio) (CHATURVEDI & KIM, 2015).

Atualmente existem pelo menos 3 categorias de VE, o BEV (Veículo Elétrico a Bateria), PHEV (Veículo Elétrico Híbrido *Plug-in*) e HEV (Veículo Elétrico Híbrido) e a diferença entre eles é a fonte de energia. Os VEs liberam zero emissões no escapamento, o que os torna mais adequados quando comparados aos veículos de combustão interna (VCI) principalmente em áreas densamente povoadas, reduzindo assim a poluição do ar (SAMARAS & MEISTERLING, 2008). Suas vantagens são a maior eficiência no consumo de energia e o reconhecimento como uma oportunidade para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e as emissões do trânsito (HE *et al.*, 2012).

Os BEVs operam exclusivamente com baterias recarregáveis e sem motor a combustível fóssil ou álcool. Eles são considerados veículos de emissão zero, pois não geram GEE e toda a energia utilizada para movimentar o veículo vem da bateria recarregada pela rede elétrica e por meio de frenagem regenerativa (YING YONG *et al.*, 2015).

Os HEVs operam por meio de uma combinação de motor a combustão e elétrico e não aceitam carregamento de fontes externas, como a rede elétrica (YING YONG *et al.*, 2015). Ou seja, toda a energia da bateria é obtida por meio da frenagem regenerativa, que recupera a energia perdida na frenagem para auxiliar o motor a gasolina durante a aceleração. Em um veículo com motor de combustão interna tradicional, esta energia de frenagem é normalmente perdida na forma de calor nas pastilhas e rotores de freio.

Os PHEVs possuem um motor a combustão e um elétrico, portanto são semelhantes aos HEVs, mas com outros adicionais, como baterias maiores e podem ser recarregados via rede elétrica (YING YONG *et al.*, 2015). Além de recarregar sua energia através da frenagem regenerativa, funcionam principalmente através do motor elétrico e quando a autonomia se esgota o motor de combustão entra em ação, e trabalham com híbridos normais.

No entanto, é importante considerar os GEE derivados durante todo o processo de produção de energia elétrica (ONAT *et al.*, 2015) ao longo do ciclo de vida do produto (KLOEPFFER, 2008), na produção de baterias (HAWKINS *et al.*, 2012) e no investimento para a transição do atual sistema de reabastecimento para elétrico (SCHROEDER & TRABER, 2012).

Para medir a redução de GEE, Doucette e McCulloch (2011a, 2011b) analisaram o uso de BEV e PHEV com diferentes mix de geração de eletricidade. Em ambos os estudos, os autores constataram que para países com misturas de geração de energia com baixa intensidade de CO₂, como no caso do Brasil, os BEVs e PHEVs podem reduzir significativamente as emissões de CO₂ sendo a melhor opção para reduzir as emissões de CO₂ do transporte.

Em relação ao Brasil, dois programas são citados no PDE e no PNE como vetores importantes para acelerar a adoção de VEs no país (BRASIL, 2020a e 2020b). O primeiro é o PBE Veicular

(Programa Brasileiro de Etiqueta Veicular), que visa tornar visível o nível de eficiência energética dos veículos em uma etiqueta padrão (BRASIL, 2021a). A segunda é a Lei nº 13.755, conhecida como Rota 2030, que visa ampliar a inclusão da indústria automobilística brasileira por meio da exportação de veículos e autopeças (BRASIL, 2021c). Até julho de 2021, o Brasil tinha 61.504 EVs (BEVs, PHEVs e HEVs), representando mais de 1% da frota total de carros (NEOCHARGE, 2022). A Tabela 2.2 mostra os 3 estados que tem mais participação de VE em circulação.

Tabela 2.2 - Quantidade de VE no Brasil e *ranking*

BEV			PHEV			HEV		
São Paulo	3.459	36,6%	São Paulo	9.271	40,5%	São Paulo	23.415	31,51%
Paraná	1.152	12,2%	Santa Catarina	2.505	10,43%	Minas Gerais	5.817	7,83%
Rio de Janeiro	925	9,8%	Minas Gerais	1.832	7,63%	Rio de Janeiro	5.756	7,75%

Fonte: NEOCHARGE, 2022.

No Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2020a) é estimado que até 2050 o Brasil terá uma frota de 130 milhões de veículos leves (de acordo com a resolução nº 396 do CONTRAN veículos leves são classificados como: ciclomotores, motonetas, triciclos, quadriciclos, automóveis, utilitários esportivos, SUVs e caminhonetes).

2.3.1 Infraestrutura de Carregamento

Os tipos de carregamento de VEs são divididos em: (i) carregamento não coordenado, não controlado ou mudo e (ii) carregamento coordenado, controlado ou inteligente (GREEN *et al.*, 2011; MWASILU *et al.*, 2014).

Diversos estudos indicam que o carregamento desordenado de uma grande quantidade de VEs pode gerar picos de cargas indesejáveis na rede elétrica, principalmente se realizado nos horários de pico. Tais contratemplos podem causar danos aos equipamentos do sistema, desequilíbrio de carga, falta de energia, harmônicos, instabilidade e diminuição da confiabilidade, além de degradação da qualidade da energia (RICHARDSON *et al.*, 2012; QIAN *et al.*, 2011) e aumento ao custo de infraestrutura (HARTMANN & ÖZDEMIR, 2011; MWASILU *et al.*, 2014). De acordo com IRENA (2019c), o carregamento inteligente é a adaptação das necessidades dos usuários de VEs e as condições do sistema de energia com o ciclo de carregamento do VE. Considerado um modelo

de otimização de carregamento de baterias, o carregamento inteligente é fundamental para evitar os problemas mencionados, além de permitir maiores contribuições fotovoltaicas de baixo custo.

Outras tecnologias surgiram com o VE, uma das quais é o *Vehicle-To-Grid* (V2G) que permite que os proprietários de VE os utilizem como bateria portátil, possibilitando a venda da energia armazenada no VE à rede elétrica, carregando-os fora de horário de pico (quando é mais barata) e vendendo no horário de pico (quando mais cara). Fornecer esse tipo de serviço usando a tecnologia V2G pode ser uma forma de gerar receita para o proprietário do VE (HARRISON, 2018). Além disso, os VEs podem desempenhar um papel essencial na integração de fontes de energia renováveis (VASSILEVA & CAMPILLO, 2017; MKHIZE & DORRELL, 2019; LI *et al.*, 2019).

Outro ponto importante a ser considerado no carregamento de VE são os investimentos para a infraestrutura de recarga. Isso requer um planejamento cuidadoso para a localização ideal dos postos públicos de recarga, para fornecer um bom serviço de recarga e reduzir o custo social (ZHU *et al.*, 2016). Prevê-se que o valor de mercado global da eletricidade para carregamento de VEs cresça mais de 20 vezes, atingindo aproximadamente US\$ 190 bilhões até 2030, o que equivale a cerca de um décimo do valor atual do mercado de diesel e gasolina (IEA, 2022e).

De acordo com o Global EV Outlook 2022 (IEA, 2022e), grande parte da demanda geral será suprida pelo uso de carregamento residencial e no local de trabalho, contudo o número de carregadores públicos precisará aumentar nove vezes e atingir mais de 15 milhões de unidades em 2030 para atender aos níveis previstos nas projeções por eles e fornecer aos consumidores cobertura adequada e conveniente.

Ainda de acordo com projeções do Global EV Outlook 2022 a eletrificação do transporte aumenta naturalmente a demanda de eletricidade e são projetados para representar cerca de 4% da demanda final total de eletricidade até 2030. A demanda da eletricidade de VEs globalmente em 2030 é prevista para ser o equivalente ao dobro do consumo total anual de eletricidade do Brasil, correspondendo a 1.100 TWh (IEA, 2022e).

2.4 HISTÓRIA VEICULAR BRASILEIRA

A história dos automóveis no Brasil constantemente tem sido associada à riqueza, visto que quem os adquiria eram ricos e faziam parte da alta sociedade. A primeira notícia deles no Brasil é em 1891, um Peugeot movido a vapor que chegou da França por intermédio de Alberto Santos Dumont. Apesar de ser o primeiro veículo no Brasil, ele não foi o primeiro a ser emplacado, visto que as normas de emplacamento surgiram apenas em 1900 com o prefeito de São Paulo, Antônio Prado. Outras normas foram estipuladas pelo mesmo, como o exame para condução do veículo, normas de velocidade, placa de identificação na parte traseira do veículo e a taxa sobre o uso do veículo. Em 1917 o estado de São Paulo já tinha 2,6 mil automóveis registrados em sua frota (ANFAVEA, 2022a).

De acordo com ANFAVEA (2022a) a primeira montadora a se instalar no Brasil foi a Ford em 1919 no centro de São Paulo com a linha de produção do seu modelo Ford T. A segunda a instalar uma filial no país foi a General Motors em 1925. Até então os automóveis não eram fabricados em solo brasileiro, apenas montados. Esse cenário começou a mudar no governo de Getúlio Vargas, quando ele fundou a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) e a Fábrica Nacional de Motores (FNM) em 1941 e 1942, respectivamente. Em 1953 foi proibida a importação de veículos completos e montados.

Apenas no governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961) que a implantação da indústria automobilística no Brasil começou a crescer. O governo de JK ficou conhecido pelo slogan “50 anos em 5”, onde seus principais objetivos eram o transporte e a indústria. Em 1956, o Grupo Executivo da Indústria Automobilística (GEIA) foi criado com o objetivo de viabilizar as iniciativas de produção de automóveis nacionais (ANFAVEA, 2022a).

De acordo com a Organização Internacional de Construtores de Automóveis (OICA, 2022) os maiores produtores mundiais de veículos em 2021 foram a China (26 milhões), Estados Unidos (9,1 milhões), Japão (7,8 milhões), Índia (4,3 milhões), Coreia do Sul (3,4 milhões), Alemanha (3,3 milhões), México (3,1 milhões) e Brasil (2,2 milhões). Levando em consideração o ano de

2020 os países que tiveram mais crescimento na produção foram a Índia com 30% e o Brasil com 12%.

Em 2022 a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2022b) resumiu a indústria automobilística brasileira em alguns números:

- 27 fabricantes e 486 autopeças;
- 57 Unidades Industriais em 9 estados e 39 municípios brasileiros;
- Capacidade de Produção de 4,5 milhões de automóveis e produção acumulada de 1957-2021 de 88,7 milhões de veículos;
- Exportação de US\$15,4 bilhões e Importação de US\$24 bilhões;
- Faturamento de US\$39,6 bilhões;
- Empregos Diretos e Indiretos de 1,2 milhões de pessoas;
- Geração de tributos diretos de R\$62,5 bilhões (IPI, ICMS, PIS/COFINS e IPVA).

2.5 LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Mesmo sendo um tema amplamente explorado e pesquisado em outros países, a introdução dos veículos elétricos ainda é recente no Brasil. As primeiras legislações, Lei nº 9.991/2000 (BRASIL, 2000) e Lei nº 13.755/18 (BRASIL, 2018), além do Programa Brasileiro de Etiquetagem – PBE (BRASIL, 2021a), Projeto de Lei nº 304/2017 (BRASIL, 2017a) e o Projeto de Lei nº 454/17 (BRASIL, 2017b) tratam superficialmente do assunto. Eles serão brevemente analisados e explicados nos parágrafos seguintes.

A principal política pública de incentivo à inovação tecnológica no setor elétrico brasileiro é a Lei nº 9.991/2000 (BRASIL, 2000) coordenada pela ANEEL, que trata dos investimentos em pesquisa e desenvolvimento em eficiência energética voltados para concessionárias, permissionárias e autorizadas no setor elétrico.

A Lei 13.755/18 (BRASIL, 2018), conhecida como Rota 2030 - Mobilidade e Logística, é uma reforma do programa revogado Inovar Auto. Seu objetivo foi aumentar a competitividade do setor automotivo, a produção de veículos mais econômicos e seguros, além de investimentos em toda a

cadeia produtiva. Por meio dele, os veículos ficarão 15% mais eficientes (redução do consumo de combustível), 3% acima do estabelecido no programa. A Rota 2030 é semelhante, mas com foco central no incentivo a projetos de Pesquisa e Desenvolvimento em toda a cadeia do setor, não se limitando às montadoras. Dentre as diretrizes estabelecidas por esta lei, pode-se citar.

- Estabelecer requisitos obrigatórios para a venda de veículos no Brasil;
- Promover o uso de biocombustíveis e formas alternativas de propulsão e valorizar a matriz energética brasileira;
- Estimular a produção de novas tecnologias e inovações, aumentando os investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento no país.

O PBE (BRASIL, 2021a), visa expor em uma etiqueta padrão o nível de eficiência energética dos veículos. Foi criado em 2008 com o objetivo de fornecer informações úteis que possam auxiliar o consumidor na hora da compra. Além disso, visa incentivar a fabricação e importação de veículos cada vez mais eficientes e econômicos. Como resultado desse programa, o Brasil passou a fazer parte da lista de países que desenvolvem programas de eficiência energética e que utilizam de forma inteligente os combustíveis nos veículos.

O Projeto de Lei nº 304/17 (BRASIL, 2017a), que tramita no Senado Federal, constitui a política de substituição de automóveis movidos a combustível fóssil, alterando a Lei nº 9.503/97 (Código de Trânsito Brasileiro):

“Art. 339-A. A partir de 1º de janeiro de 2030, fica vedada, em todo o território nacional, a comercialização de automóveis novos de tração automotora por motor a combustão, exceto os abastecidos exclusivamente com biocombustíveis, definidos pelo inciso XXIV do art. 6º da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997.

Art. 339-B. A partir de 1º de janeiro de 2040, fica vedada, em todo o território nacional, a circulação dos automóveis de que trata o art. 339-A.

Parágrafo único. Excetuam-se da proibição estabelecida no caput: I – os automóveis de coleção, de que trata o art. 96, II, g; II – os automóveis classificados nas hipóteses do art. 96, III, a e b; III – os veículos de propriedade de visitantes estrangeiros, até cento e oitenta dias de sua entrada no Brasil.”

O programa impõe que a partir de 1º de janeiro de 2030, a venda de automóveis novos a combustão será proibida em todo o Brasil, com exceção daqueles que utilizam biocombustíveis. A partir de 1º de janeiro de 2040 será proibida a circulação de VCI, com exceção de alguns veículos: (i) veículos

de coleta; (ii) funcionários e representações diplomáticas, repartições consulares de carreira ou organismos internacionais credenciados ao governo brasileiro; (iii) de propriedade de visitantes estrangeiros, até 180 dias após a entrada no Brasil.

Outro Projeto de Lei que tramita no Senado Federal é a 454/17 (BRASIL, 2017b), que altera a Lei nº 8.723, de 28 de outubro de 1993 (Lei de Redução da Emissão de Poluentes) e inclui os seguintes artigos:

“Art. 16-A. É vedada a comercialização de veículos novos de tração automotora por motor a combustão a partir de 1º de janeiro de 2060 em todo o território nacional. § 1º A vedação estabelecida no caput não se aplica aos veículos abastecidos exclusivamente com biocombustíveis, definidos pelo inciso XXIV do art. 6º da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997. § 2º A cota de participação de veículos de tração automotora por motor a combustão no total de vendas, excluídos os referidos no § 1º, deverá ser de, no máximo: I - 90% a partir de 1º de janeiro de 2030; II - 70% a partir de 1º de janeiro de 2040; III - 10% a partir de 1º de janeiro de 2050.”

Ambos os Projetos de Lei tramitam no Senado Federal, com nenhuma movimentação nesses últimos anos. A última movimentação do Projeto de Lei 454/17 foi em 07 de outubro de 2019 e o Projeto de Lei 304/17 foi em 19 de fevereiro de 2020. Alguns países estabeleceram limites semelhantes, como a União Europeia que tem até 2035 para o fim da comercialização de veículos a combustão interna (RILEY, 2021) e do Reino Unido que antecipou para o ano de 2030 o fim da comercialização de veículos a combustão (DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DO REINO UNIDO, 2021).

Nesse sentido, além das leis nacionais, alguns estados estabeleceram políticas públicas semelhantes para o uso de VE. Nos estados de São Paulo (2014) Lei 15.997/14, Mato Grosso do Sul (1997) Lei 1.810/97 e Rio de Janeiro (1997) Lei 2.877/97 os VEs possuem alíquota diferenciada para a cobrança do IPVA (Imposto sobre Propriedade de Autoveículos). Enquanto os estados do Maranhão (2018) Lei nº 10.956/18, Piauí (2010) Instrução Normativa nº 001/10, Ceará (1992) Lei 12.023/92, Rio Grande do Norte (1996) Lei 6.967/96, Pernambuco (1992) Lei 10.849/92, Sergipe (2013) Lei 7.655/13) e Rio Grande do Sul (1985) Lei 8.115/85 os VEs são isentos de IPVA.

Com base nas informações anteriores, sobre os VE, a geração de energia e a legislação brasileira, cabe agora explicar a metodologia utilizada para enfim buscar responder os questionamentos da pesquisa.

3 MÉTODOS E MATERIAIS

Esse capítulo foi dividido em duas partes, a primeira na qual a correlação de Pearson é utilizada para compreender se os VE estão relacionados com a energia solar. E a segunda onde utilizou-se da metodologia ARIMA para fazer uma previsão com base nos números dos BEV e da geração de eletricidade no Brasil. Os *softwares Microsoft Excel, Eviews e R* foram utilizados para encontrar estatísticas descritivas, correlação e fazer as previsões para 3 cenários.

3.1 ARIMA

O modelo ARIMA (Autorregressivo Integrado Média Móvel) foi escolhido visto a sua popularidade em análise de previsão (DEBNATH & MOURSHED, 2018). Frequentemente representado como (p,d,q), onde p é o número de termos autorregressivos, q o número de termos de média móvel e d o número de diferenças necessárias para a estacionariedade. ARIMA é dividida em duas partes: AR(p) e MA(q). o AR(p) é o modelo autorregressivo de ordem p (Equação 1) e o modelo MA(q) é o modelo de média móvel de ordem q (Equação 2).

$$Y_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^p \varphi_i y_{t-i} \quad (1)$$

$$Y_t = \varepsilon_t + \sum_{i=1}^q \theta_i \varepsilon_{t-i} \quad (2)$$

O fluxograma do modelo ARIMA é demonstrado na Figura 3.1, onde o primeiro passo é verificar se a série temporal é estacionária ou não, um teste comumente utilizado para detectar a estacionariedade da série é o teste Dickey Fuller Aumentado (DICKEY & FULLER, 1979). Em seguida, a série deve passar no teste de ruído branco para garantir que a sequência de dados possa ser prevista. Posteriormente, serão selecionados os valores de AR(p) e MA(q), utilizando os gráficos da Função de Correlação Automática Parcial (PACF) e o gráfico da Função de Autocorrelação (ACF).

Como os critérios automáticos de informação, como o Critério de Informação de Akaike (AIC), o Critério de Informação de Bayes (BIC) e o critério de informação de Hannan-Quinn (HQIC), equilibram simplicidade e parcimônia paramétrica enquanto ajustam bem o modelo, AIC e BIC são geralmente usados para procurar melhores modelos. O modelo ARIMA (p, d, q) com um valor

inferior de AIC ou BIC é um modelo melhor (MOHAMMED *et al.*, 2015). Por último é aplicado um teste de ruído branco nos resíduos. Se eles indicarem que o modelo se ajusta adequadamente com o ruído branco então está pronto para a previsão (NING *et al.*, 2022).

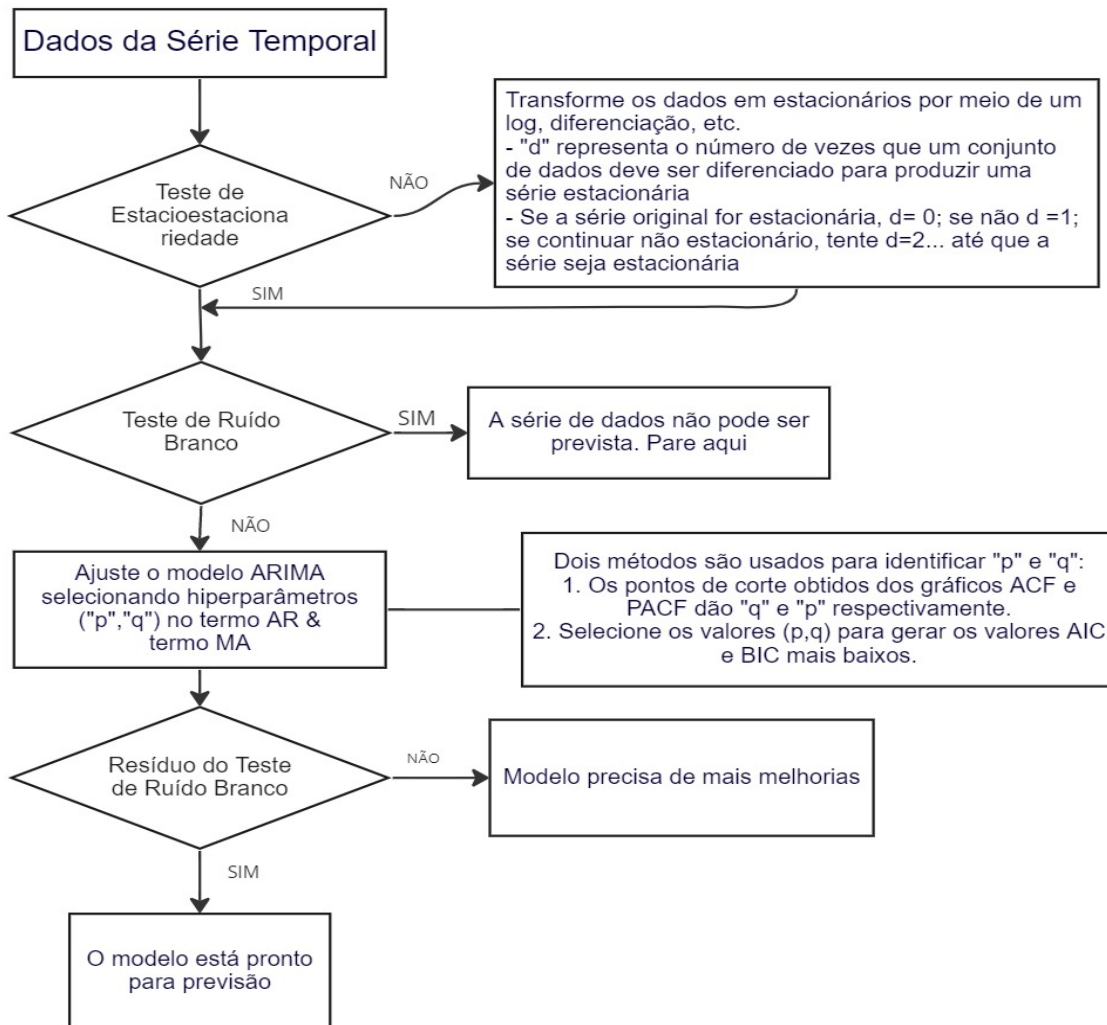


Figura 3.1- Fluxograma do modelo ARIMA. Fonte: Ning *et al.*, 2022.

3.2 CORRELAÇÃO DE PEARSON

Nessa seção o objetivo é entender se existe uma correlação entre o número de VE circulando no Brasil e a quantidade de unidades de energia solar FV residenciais no Brasil. Figueiredo Filho e Silva Junior (2010) definem que esse tipo de análise “[...] é uma medida de associação bivariada (força) do grau de relação entre duas variáveis”. A coleta de dados foi realizada de forma

quantitativa em bases de dados do Governo Federal. O primeiro conjunto de dados foi obtido do Ministério da Infraestrutura que é a quantidade de VE existentes no país (BRASIL, 2022) e o segundo foi retirado da base de dados da ANEEL (2022a), o número de instalações residenciais de energia solar FT de GD no país, ambos os dados durante os meses de junho de 2013 a julho de 2021. O *software R* foi utilizado para os cálculos e gráficos desta pesquisa.

O coeficiente de correlação de Pearson (r) varia entre -1 e 1. Quanto mais próximo dos extremos, mais forte é a relação entre as duas variáveis, sejam elas positivas ou negativas. O valor 0 demonstra a falta de correlação linear entre as variáveis. Quando o valor de r está entre 0,3 e 0,5 é uma correlação fraca, entre 0,5 e 0,7 forte e 0,7 e 1 muito forte (FIGUEIREDO FILHO & SILVA JUNIOR, 2010). É representado pela fórmula:

$$r = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2)(n \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2)}} \quad (3)$$

Em consideração a metodologia descrita neste capítulo e os conhecimentos agregados pela revisão de literatura, no próximo capítulo trata-se da análise dos resultados da pesquisa.

3.3 IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

O modelo aplicado considera primeiro a coleta de dados envolvendo tanto a produção de energia elétrica quanto o consumo dos anos de 2012 a 2021. Obteve-se as vendas de automóveis BEV nos últimos anos que incluem de maio de 2013 a janeiro de 2022. Em virtude do rápido crescimento destas vendas de veículos elétricos BEV, a previsão de crescimento para estes veículos pelo modelo ARIMA foi estimada até o momento em que ela atinge aproximadamente 30% das vendas totais de veículos. Posteriormente, a previsão para o crescimento dos veículos foi considerada ser a mesma de países mais desenvolvidos que é de aproximadamente 2% ao ano, pois assume-se que o Brasil já poderia ser considerado um mercado maduro de veículos elétricos.

Uma vez com a estimativa de crescimento dos veículos elétricos ano a ano, obteve-se o consumo de energia destes veículos e do país em geral. Este consumo de energia certamente depende da

autonomia de cada veículo, uma vez que veículos com baterias que têm uma autonomia maior (como o Volvo XC40 Recharge, autonomia de 335 km) irão requerer recarregamento das suas baterias, em geral, após um maior tempo do que carros que têm uma autonomia menor (como o MiniCooper Electric, 180 km). É verdade também que apesar de uma maior autonomia dos veículos, deve-se considerar que as baterias necessitam de mais energia quando forem recarregadas, mas este ponto também foi levado em consideração como será observado no próximo capítulo. Portanto, assumiu-se a proporção dos 5 carros elétricos mais vendidos no Brasil no ano de 2021, e considerou-se uma proporção média de autonomia e de eficiência a fim de calcular o consumo médio de energia requerido para recarregar todos os carros elétricos no Brasil, caso a venda destes carros se mantivesse nos próximos anos. Deve-se destacar que estes cálculos tiveram que ser realizados devido ao incipiente mercado de veículos elétricos no Brasil.

Para o cálculo da produção de energia, assumiu-se o crescimento de produção de energia de acordo com o crescimento de 10 anos (2012 a 2021). Projetou-se este crescimento ano a ano, e enquanto este crescimento fosse suficiente para satisfazer o aumento do consumo de energia, assumiu-se que este era o investimento a ser realizado em novas gerações de energia. Caso este crescimento não fosse suficiente para satisfazer o crescimento do consumo de energia, assumiu-se então que a produção de energia nestes anos seria pelo menos igual ao consumo de energia. O *flowchart* da Figura 3.2 descreve o procedimento aplicado.

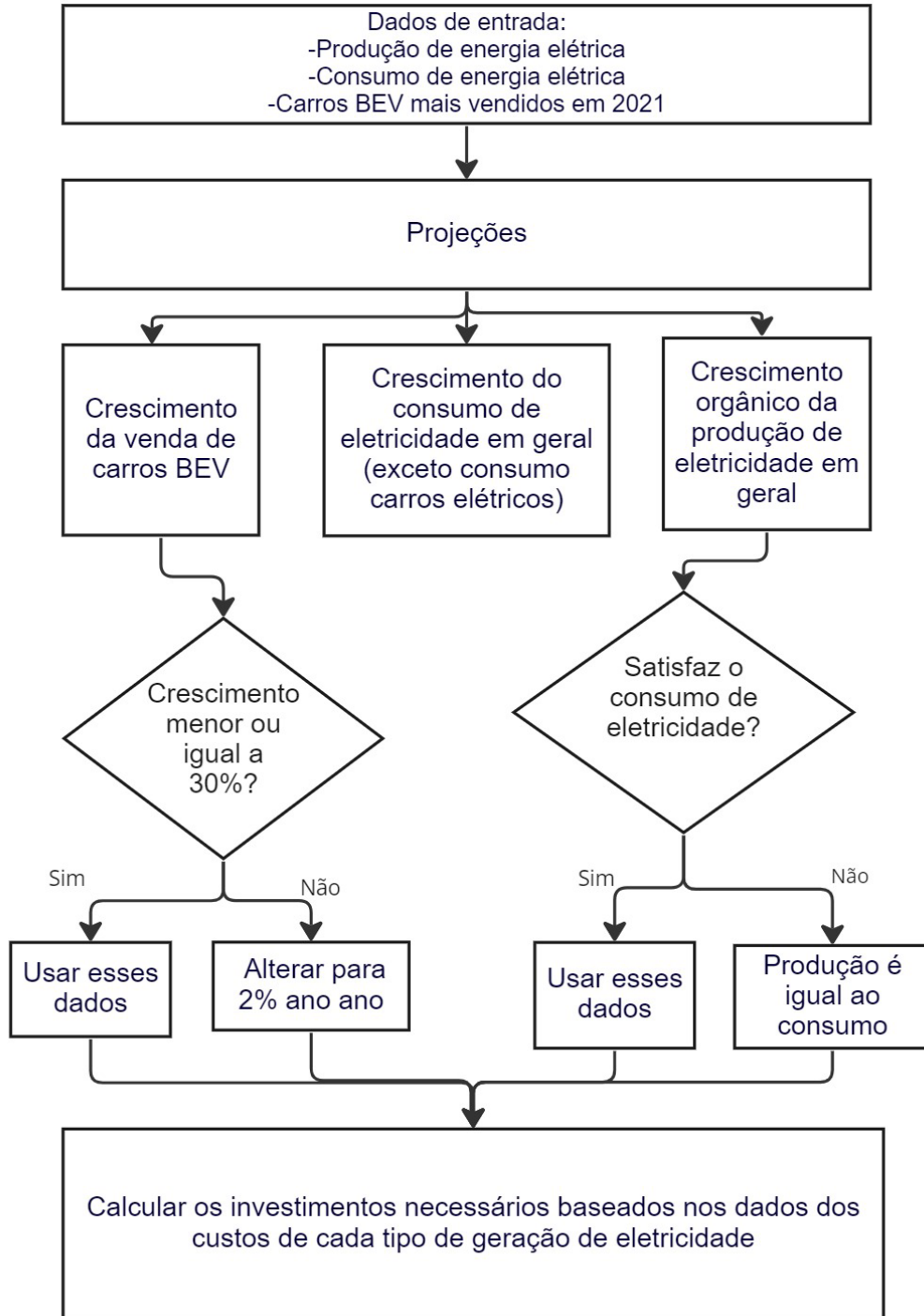


Figura 3.2 - Fluxograma da Implementação do Algoritmo

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados referentes à aplicação da ARIMA para a previsão em 4 cenários assim como o resultado da Correlação de Pearson. Para tal, essa seção é dividida em duas partes. A primeira com os dados da Correlação de Pearson e a segunda com os resultados da ARIMA e os cenários.

4.1 CORRELAÇÃO DE PEARSON

A análise concentrou-se principalmente nas tecnologias residenciais de Geração Distribuída Fotovoltaica existentes no Brasil de 2013 a 2021 e os números de BEV e PHEV circulando no Brasil, pois estes podem ser recarregados utilizando eletricidade.

Os dados foram extraídos de duas bases de dados públicas brasileiras: (i) ANEEL (2022a) e (ii) Ministério da Infraestrutura (BRASIL, 2022), durante os meses de junho de 2013 a julho de 2021. O resultado obtido na correlação é igual a 0,79 com um intervalo de confiança de 95% mostrado na Figura 4.1. Ressalta-se, portanto, que r corresponde a uma forte correlação positiva, demonstrando que é possível afirmar que os crescimentos das duas variáveis estão correlacionados entre si, ou seja, quando um cresce o outro também cresce.

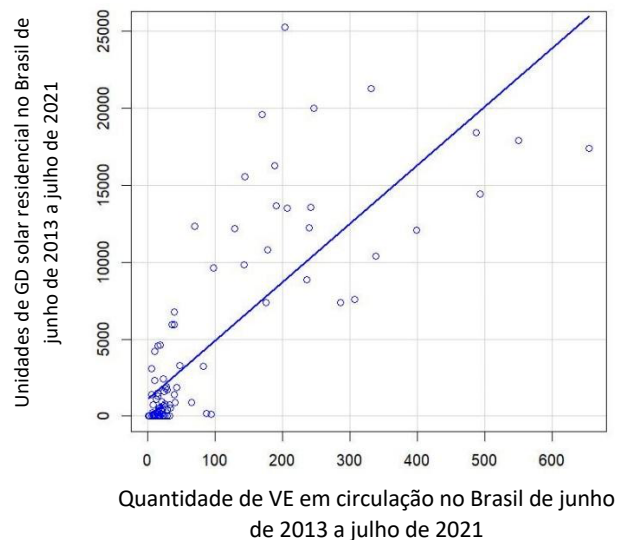


Figura 4.1 - Gráfico de Correlação de Pearson

O Brasil, como o mundo inteiro, tem sofrido com as mudanças climáticas. Essas mudanças comprometeram o ciclo hidrológico brasileiro e sua capacidade de geração hidrelétrica, tornando o país suscetível a secas e aumento de temperatura (LIMA *et al.*, 2020). De acordo com o estudo de Jong *et al.*, (2019) projeta-se que até 2080 a radiação solar aumentará na maior parte do Brasil, principalmente na região Nordeste com uma média de 3,6% em relação aos níveis da década de 1970. Portanto, o Brasil precisa estabelecer um plano para aproveitar ao máximo a produção de energia limpa, especialmente nas energias solar e eólica (RIGO *et al.*, 2019; CAMILO *et al.*, 2017).

Apesar do crescimento acelerado da energia solar FV nos últimos anos, ainda existem muitas barreiras para sua adoção no país, como viabilidade de construção, restrições geográficas, falta de produção nacional de módulos FV, custo do sistema, renda familiar e longo *payback* variando de 6 a 23 anos (RIGO *et al.*, 2019; WANG *et al.*, 2017; SILVA & BRANCO, 2018 e SORGATO *et al.*, 2018). Além disso, para o Brasil altos custos iniciais, falta de infraestrutura de recarga e barreiras de renda são impedimentos para a adoção de VEs no Brasil (GREENER, 2021; REZVANI *et al.*, 2015).

Segundo Brasil (2020a), os VEs terão diversos desafios em sua implantação no Brasil, principalmente em relação ao preço final do veículo, à infraestrutura de carregamento e à regulamentação do uso de energia. Uma das formas de ajudar o país na transição para VE seria o uso da energia solar FV, como o estudo de Finn *et al.*, (2012) mostra que a combinação dessas duas tecnologias resultaria na redução da demanda de pico e na minimização da geração de energia convencional.

Estudos anteriores de Kobashi e Yarime (2019) e Kobashi *et al.*, (2020) conduzidos no Japão mostraram que o uso de VE junto com energia solar FV residencial é uma opção econômica com maior potencial para reduzir as emissões de CO₂ em comparação com apenas energia solar FV ou associada com baterias.

Outro ponto a ser discutido é a questão da sustentabilidade. A sociedade busca cada vez mais soluções ecológicas e sustentáveis, pensando no futuro do planeta e das pessoas. O Brasil, sendo um país rico em diversidade, principalmente em riquezas naturais e climáticas, oferece um leque

de possibilidades na construção de um mundo com melhor qualidade de vida. Portanto, se seguirmos a linha de pensamento de Kobashi e Yarime (2019) e Kobashi *et al.*, (2020), o país seria um forte candidato a garantir à sua população menos emissões de CO₂, mais geração de energia limpa e eletromobilidade.

4.2 CENÁRIOS

Nessa seção são apresentados quatro cenários para avaliar a sustentabilidade dos carros elétricos no Brasil. Cenário 1, 2 e 3 foram baseados no crescimento do Produto Interno Bruto brasileiro e o cenário base levou em consideração uma projeção do PDE 2029 com crescimento do consumo de eletricidade até 2029 de 2,5% ao ano. O processo de análise dos resultados incluiu os diversos custos e avaliações econômicas considerados para cada cenário avaliado.

Os cenários escolhidos foram:

- Cenário Base com consumo de energia aumentando 2,5% até 2029;
- Cenário 1 com consumo de energia variando em $1,0\% \pm 0,5\%$;
- Cenário 2 com consumo de energia variando em $4,0\% \pm 2\%$;
- Cenário 3 com consumo de energia variando em $6,0\% \pm 3,0\%$.

O gráfico da Figura 4.2 demonstra o crescimento dos carros elétricos nos últimos 10 anos no Brasil, e referem-se aos anos de 2013 a 2022 (BRASIL, 2022).

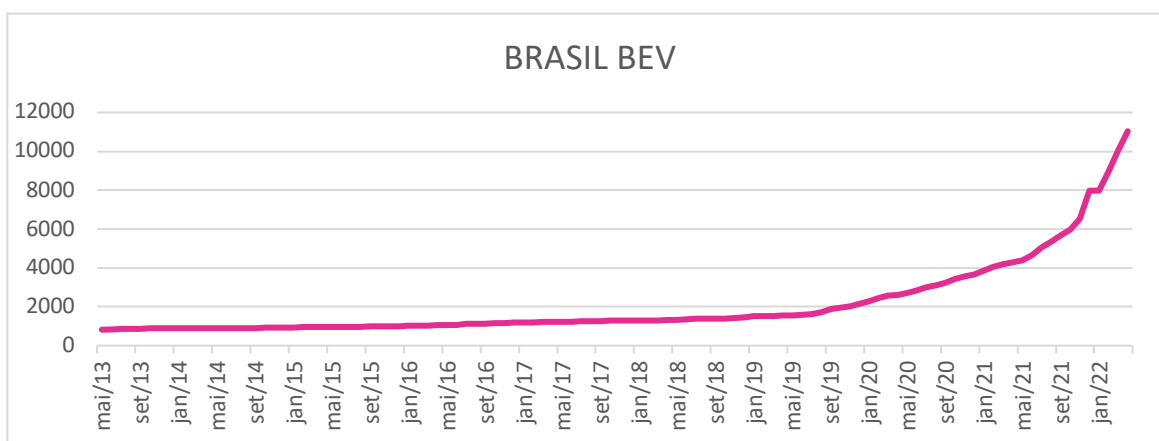


Figura 4.2 - Gráfico crescimento BEV Brasil 2013 a 2022

Analisando a Figura 4.2 observa-se que qualquer regressão com foco em previsão para o crescimento dos carros BEV seria irreal, visto que o número de carros atingiria mais de 4 milhões em 25 anos, a partir de 2022 ou ainda, mais de 7 milhões em 40 anos. Decidiu-se assim assumir que haverá um crescimento baseado nos dados até o ano de 2032 (modelo ARIMA), e a partir do ano 2032, quando o número de carros BEV estiver aproximadamente igual a 30% do total da frota circulante no Brasil, haverá um crescimento orgânico similar ao que ocorre em países desenvolvidos de aproximadamente 2% ao ano (IEA, 2021).

Os carros a serem considerados foram os carros mais vendidos no ano de 2021 no Brasil de acordo com o anuário da FENABRAVE (2022), e as suas descrições estão na Tabela 4.1 (EV DATA BASE, 2022 a-e). De acordo com a literatura, à distância média de viagem percorrida por dia no Brasil é de 35 km (KBB, 2019). Pode-se assim calcular de quanto em quanto tempo (autonomia) deve-se carregar as baterias dos carros de acordo com o alcance de cada carro na Tabela 4.2. Além disso, multiplicando pela quantidade total de carros de cada tipo existente, obtém-se o consumo anual para carregar os carros BEVs no Brasil (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 - Carros BEV mais vendidos no Brasil em 2021

Os BEV mais vendidos em 2021 no Brasil	Valores Iniciais	Bateria (kWh)	Alcance (km)	Eficiência Média (Wh/km)	Melhor Tempo Carregamento Residencial	Carregamento Rápido
Nissan Leaf	R\$ 287.300,00	39	235	166	12h45m	43 min
Porsche Taycan	R\$ 699.000,00	71	410	173	7h45m	35 min
Volvo XC40 Recharge	R\$ 389.950,00	67	335	200	7h15m	39 min
Mini Cooper Electric	R\$ 239.990,00	28.9	180	161	3h15m	29 min
Audi E-tron	R\$ 529.000,00	52	285	182	8h30min	35 min

Os dados de cada veículo foram obtidos da base de dados dos Veículos Elétricos

- Bateria (kWh) é total da capacidade da bateria em Quilowatt-hora;
- Alcance (km) é quantos quilômetros o automóvel roda com a bateria cheia;
- Eficiência Média (Wh/km) é o valor da capacidade da bateria (kWh) multiplicado por 1.000 em seguida dividido pelo alcance em quilômetros;
- Melhor tempo de carregamento residencial é quanto tempo será necessário para carregar o veículo em uma rede trifásica com 32 amperes;

-Carregamento rápido, ou seja, quanto tempo será necessário para carregar o veículo no carregamento rápido de 100 kw em corrente contínua.

Tabela 4.2 - Consumo Total dos carros BEVs (2021)

Os BEV mais vendidos em 2021 no Brasil	AUTONOMIA (DIAS)	CONSUMO POR CARRO (kWh)	CONSUMO ANUAL POR CARRO (kWh)	2021 (%)	TOTAL DE VEICULOS (2021)	CONSUMO TOTAL (GWh)
Nissan Leaf	7	39	2091	8,19	3015	6,30
Porsche Taycan	12	71	2182	7,07	2603	5,68
Volvo XC40 Recharge	10	67	2520	67,00	24678	62,19
Mini Cooper Electric	5	28,9	2023	17,68	6511	13,17
Audi E-tron	8	52	2299	0,07	27	0,06
TOTAL						87,41

Levando em consideração a distância média diária percorrida pelo brasileiro de 35 km foi possível fazer o seguinte cálculo (Equação 3) para obter a autonomia de cada veículo, ou seja, de quantos em quantos dias seria necessário carregar o veículo (todos os valores foram aproximados para cima).

$$autonomia = \frac{alcance}{35 Km} \quad (3)$$

Com esse dado de autonomia foi possível calcular o consumo anual por carro em (kWh) multiplicando a autonomia pelo consumo por carro, conforme Equação 4.

$$Consumo\ anual\ por\ carro = \left(\frac{365\ dias}{autonomia} \right) * Consumo\ por\ carro\ (kWh) \quad (4)$$

O próximo passo foi fazer uma média ponderada com os dados dos obtidos para o ano de 2021 por meio do anuário da Fenabrave (2022). Como não estão disponíveis os dados de todos os VEs em circulação no Brasil optou-se por fazer uma média ponderada considerando como se esses cinco modelos fossem os únicos em circulação no país. Em seguida, calculou-se suas porcentagens e o total de veículos em 2021. Por fim multiplicou-se o total de veículos pelo consumo anual em kWh e depois para GWh para ser utilizado nos próximos cálculos, conforme as Equações 5 e 6.

$$Consumo\ total\ (kWh) = (Total\ de\ veículos * Consumo\ Anual\ por\ Carro\ (kWh)) \quad (5)$$

$$Consumo\ total\ (Gwh) = Consumo\ total\ (kWh) * 1.000.000 \quad (6)$$

A produção de energia no Brasil é obtida para os anos de 2012 a 2021 a partir do Balanço Energético de 2022, assim como os dados de consumo para os mesmos anos (EPE, 2022). Analisando a Tabela 4.3, calculou-se que houve um crescimento do consumo de energia no Brasil de aproximadamente 6% ao ano e desvio padrão de 3%. Esses números foram usados para projetar o crescimento do consumo de energia nos próximos anos para o Brasil e o consumo total foi obtido somando este crescimento com o aumento da frota de carros elétricos BEVs.

Tabela 4.3 - Consumo de Energia no Brasil (GWh)

2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
448.126	463.700	473.000	465.708	461.780	467.161	474.820	482.226	475.480	500.209

Com os dados da Tabela 4.3, calculou-se o crescimento da energia elétrica no Brasil, resultando-se em uma média de aproximadamente 602 TWh e desvio padrão de 27 TWh. Os dados foram usados para projetar o crescimento nos próximos anos da capacidade de produção da indústria energética brasileira.

A proporção de energia gerada para cada setor no Brasil no ano de 2021 é de aproximadamente 56,8% para a hidrelétrica, 12,8% gás natural, 10,6% para a eólica, 8,2% biomassa, 3,9% carvão e derivados, 3% derivados de petróleo, 2,5% para a solar e nuclear 2,2% (EPE,2022). Levando em conta os custos para cada um destes setores de R\$ 352,00/MWh para hidrelétrica, R\$ 280,00/MWh para eólica e solar e R\$ 353,00/MWh para biomassa, é possível estimar o custo para expandir o setor elétrico brasileiro, caso esta mesma proporção de energia seja mantida (ANEEL, 2022b).

As Tabelas 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 trazem os cálculos necessários para atingir os prazos estabelecidos nos Projetos de Lei 304/2017 e 454/2017, considerando o cenário base e os cenários 1, 2 e 3 e para o crescimento do setor de consumo energético brasileiro.

Os Projetos de Lei têm em comum a proibição de venda de veículos a combustão interna (2040 para o Projeto de Lei 304 e 2060 para o Projeto de Lei 454), para analisar os cenários dentro dos prazos estabelecidos as projeções foram estabelecidas até o ano de 2060.

Nas Tabelas 4.4 até 4.8 foram projetadas as seguintes informações:

- Produção de eletricidade em TWh;
- Consumo dos BEV em TWh;
- Consumo (crescimento da demanda) em TWh;
- Consumo Total em TWh (Consumo dos BEV + Consumo da demanda);
- Eletricidade para investir em TWh (para suprir a demanda);
- Investimento total em bilhões de reais (necessários para suprir a demanda).

Tabela 4.4 - Cenário Base com consumo de energia aumentando 2,5% (Conforme PDE2029)

Ano	Produção (TWh)	Consumo (BEV) (TWh)	Consumo (crescimento) (TWh)	Consumo Total (TWh)	Eletricidade para investir (TWh)	Investimento Total R\$ bilhões
2021	656,11	0,09	500,20	500,29	34,86	12,01
2022	683,21	0,009	504,21	517,50	27,10	9,34
2023	687,55	0,011	527,84	527,85	4,33	1,49
2024	695,52	0,014	538,40	538,41	7,98	2,75
2025	696,26	0,018	549,16	549,18	0,73	0,25
2026	699,63	0,022	560,15	560,17	3,37	1,16
2027	727,76	0,028	571,35	571,38	28,13	9,69
2028	752,26	0,034	582,78	582,81	24,50	8,44
2029	767,59	0,043	594,43	594,48	15,33	5,28
2030	763,62	0,053	606,32	606,38	-3,96	-1,37
2031	794,91	0,067	618,45	618,52	31,28	10,78
2032	826,49	0,083	630,82	630,90	31,59	10,88
2033	839,46	0,104	643,43	643,54	12,97	4,47
2034	866,37	0,129	656,30	656,43	26,91	9,27
2035	897,19	0,161	669,43	669,59	30,82	10,62
2036	936,13	0,201	682,82	683,02	38,94	13,42
2037	989,58	0,251	696,47	696,72	53,45	0,00
2038	1022,54	0,312	710,40	710,72	32,97	0,00
2039	1079,01	0,390	724,61	725,00	56,47	19,46
2040	1119,25	0,486	739,10	739,59	40,23	13,86
2041	1186,14	0,606	753,89	754,49	66,89	23,05
2042	1227,30	0,755	768,96	769,72	41,16	14,18
2043	1257,78	0,942	784,34	785,28	30,48	10,50
2044	1293,52	1,174	800,03	801,20	35,74	12,32
2045	1345,45	1,464	816,03	817,49	51,93	17,89
2046	1366,99	1,826	832,35	834,18	21,53	7,42
2047	1361,73	1,862	849,00	850,86	-5,26	-1,81
2048	1401,70	1,900	865,98	867,88	39,97	13,77
2049	1436,45	1,938	883,30	885,23	34,75	11,97
2050	1480,73	1,976	900,96	902,94	44,28	15,26
2051	1489,19	2,016	918,98	921,00	8,46	2,92
2052	1542,88	2,056	937,36	939,42	53,69	18,50
2053	1609,52	2,097	956,11	958,21	66,63	22,96
2054	1665,79	2,139	975,23	977,37	56,27	19,39
2055	1662,84	2,182	994,74	996,92	-2,95	-1,02
2056	1677,87	2,226	1014,63	1016,86	15,03	5,18
2057	1690,26	2,270	1034,92	1037,19	12,39	4,27
2058	1703,88	2,316	1055,62	1057,94	13,62	4,69
2059	1765,25	2,362	1076,73	1079,10	61,37	21,15
2060	1776,82	2,409	1098,27	1100,68	11,57	3,99
Investimento Total						356,40

No Cenário Base o crescimento foi baseado no texto do PDE 2029, que prevê que o consumo de energia elétrica crescerá a uma taxa média de 2,5% ao ano até 2029 e essa taxa foi estendida até o ano de 2060. Na Tabela 4.4 é possível observar que no ano de 2060 a produção de energia elétrica será de 1.776,82 TWh o que será suficiente para suprir a nossa demanda elétrica juntamente com os BEV que corresponde a 1.100,68 TWh.

O total de BEV no ano de 2060 nas nossas projeções foi de 15.421.913 unidades. Se levarmos em consideração o estimado no Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2020a) esse número deveria ser no mínimo igual a 130 milhões de veículos leves para o ano de 2050. Se utilizarmos os dados da Tabela 4.2, o total de veículos é de 36.834 e o consumo é de 87,4 GWh, pode-se assim estimar.

$$Total\ consumo\ BEV\ 2060 = \frac{(87,4\ GWh * 130.000.000)}{36.834} \quad (7)$$

O que resultaria no Total de 308.465,00 GWh (308,46 TWh) e que se somado ao Consumo (crescimento) do ano de 2060 (1098,27 TWh) resultaria em 1.406,73 TWh. Nesse Cenário Base, a nossa produção seria suficiente para suprir a nossa demanda, mesmo considerando uma frota 100% de VE. Ademais, o investimento necessário na infraestrutura de geração de eletricidade dos anos de 2021 a 2060 foi de R\$ 356,40 bilhões de reais.

Tabela 4.5 - Cenário 1 com consumo de energia variando em 1,0% ± 0,5%

Ano	Produção (TWh)	Consumo (BEV) (TWh)	Consumo (crescimento) (TWh)	Consumo Total (TWh)	Eletricidade para investir (TWh)	Investimento Total R\$ bilhões
2021	656,11	0,09	500,20	500,29	34,86	12,01
2022	683,21	0,009	504,21	517,50	27,10	9,34
2023	687,55	0,011	522,22	522,23	4,33	1,49
2024	695,52	0,014	526,99	527,00	7,98	2,75
2025	696,26	0,018	530,19	530,21	0,73	0,25
2026	699,63	0,022	537,39	537,41	3,37	1,16
2027	727,76	0,028	541,90	541,93	28,13	9,69
2028	752,26	0,034	548,69	548,73	24,50	8,44
2029	767,59	0,043	555,84	555,88	15,33	5,28
2030	763,62	0,053	561,17	561,23	-3,96	-1,37
2031	794,91	0,067	564,43	564,50	31,28	10,78
2032	826,49	0,083	568,82	568,91	31,59	10,88
2033	839,46	0,104	572,50	572,60	12,97	4,47
2034	866,37	0,129	580,49	580,62	26,91	9,27
2035	897,19	0,161	588,80	588,96	30,82	10,62
2036	936,13	0,201	593,36	593,56	38,94	13,42
2037	989,58	0,251	600,79	601,04	53,45	0,00
2038	1022,54	0,312	605,21	605,52	32,97	0,00
2039	1079,01	0,390	608,70	609,09	56,47	19,46
2040	1119,25	0,486	613,81	614,30	40,23	13,86
2041	1186,14	0,606	617,94	618,55	66,89	23,05
2042	1227,30	0,755	622,78	623,53	41,16	14,18
2043	1257,78	0,942	628,78	629,72	30,48	10,50
2044	1293,52	1,174	632,37	633,54	35,74	12,32
2045	1345,45	1,464	641,63	643,09	51,93	17,89
2046	1366,99	1,826	646,24	648,07	21,53	7,42
2047	1361,73	1,862	651,30	653,16	-5,26	-1,81
2048	1401,70	1,900	658,01	659,91	39,97	13,77
2049	1436,45	1,938	663,63	665,57	34,75	11,97
2050	1480,73	1,976	673,55	675,52	44,28	15,26
2051	1489,19	2,016	683,24	685,25	8,46	2,92
2052	1542,88	2,056	687,74	689,80	53,69	18,50
2053	1609,52	2,097	696,90	699,00	66,63	22,96
2054	1665,79	2,139	701,83	703,97	56,27	19,39
2055	1662,84	2,182	709,22	711,41	-2,95	-1,02
2056	1677,87	2,226	714,97	717,20	15,03	5,18
2057	1690,26	2,270	724,29	726,56	12,39	4,27
2058	1703,88	2,316	733,99	736,31	13,62	4,69
2059	1765,25	2,362	738,79	741,15	61,37	21,15
2060	1776,82	2,409	748,39	750,80	11,57	3,99
Investimento Total						356,40

No Cenário 1 o crescimento consumo de energia variou em $1,0\% \pm 0,5\%$. Na Tabela 4.5 observa-se que no ano de 2060 a produção de energia elétrica será de 1.776,82 TWh o que será suficiente para suprir a nossa demanda elétrica juntamente com os BEV que corresponde a 750,80 TWh.

O total de BEV no ano de 2060 nas nossas projeções foi de 15. 421.913 unidades. Se for considerado o estimado no Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2020a) esse número deveria ser no mínimo igual a 130 milhões de veículos leves para o ano de 2050. Se forem utilizados os dados da Tabela 4.2, o total de veículos é de 36.834 e o consumo é de 87,4 GWh, pode-se assim estimar.

$$Total\ consumo\ BEV\ 2060 = \frac{(87,4\ GWh * 130.000.000)}{36.834} \quad (7)$$

O que resultaria no Total de 308.465,00 GWh (308,46 TWh) e que se somado ao Consumo (crescimento) do ano de 2060 (748,39 TWh) resultaria em 1.056,85 TWh. Nesse cenário 1, a nossa produção seria suficiente para suprir a nossa demanda, mesmo considerando uma frota 100% de VE. Ademais, o investimento necessário na infraestrutura de geração de eletricidade dos anos de 2021 a 2060 foi de R\$ 356,40 bilhões de reais.

Tabela 4.6 - Cenário 2 com consumo de energia variando 4,0% ± 2%

Ano	Produção (TWh)	Consumo (BEV) (TWh)	Consumo (crescimento) (TWh)	Consumo Total (Twh)	Elettricidade para investir (TWh)	Investimento Total R\$ bilhões
2021	656,11	0,01	500,20	500,21	34,86	12,01
2022	683,21	0,009	517,49	517,50	27,10	9,34
2023	687,55	0,011	533,04	533,05	4,33	1,49
2024	695,52	0,014	545,11	545,13	7,98	2,75
2025	696,26	0,018	565,54	565,56	0,73	0,25
2026	699,63	0,022	587,35	587,37	3,37	1,16
2027	727,76	0,028	609,32	609,35	28,13	9,69
2028	752,26	0,034	642,18	642,21	24,50	8,44
2029	767,59	0,043	678,69	678,73	15,33	5,28
2030	763,62	0,053	704,17	704,22	0,00	0,00
2031	794,91	0,067	723,56	723,63	31,28	10,78
2032	826,49	0,083	763,08	763,16	31,59	10,88
2033	839,46	0,104	799,52	799,62	12,97	4,47
2034	866,37	0,129	817,00	817,13	26,91	9,27
2035	897,19	0,161	858,28	858,44	30,82	10,62
2036	936,13	0,201	894,82	895,03	38,94	13,42
2037	989,58	0,251	937,57	937,82	53,45	18,42
2038	1022,54	0,312	967,60	967,91	32,97	11,36
2039	1079,01	0,390	1017,90	1018,29	56,47	19,46
2040	1119,25	0,486	1070,86	1071,35	40,23	13,86
2041	1186,14	0,606	1127,47	1128,07	66,89	23,05
2042	1227,30	0,755	1152,40	1153,15	41,16	14,18
2043	1257,78	0,942	1195,63	1196,57	30,48	10,50
2044	1293,52	1,174	1236,43	1237,60	35,74	12,32
2045	1345,45	1,464	1261,19	1262,65	51,93	17,89
2046	1366,99	1,826	1309,62	1311,45	21,53	7,42
2047	1361,73	1,862	1358,56	1360,43	-5,26	-1,81
2048	1394,13	1,900	1394,13	1396,03	32,41	11,17
2049	1458,19	1,938	1458,19	1460,13	64,06	22,07
2050	1515,84	1,976	1515,84	1517,82	57,65	19,87
2051	1592,04	2,016	1592,04	1594,06	76,20	26,26
2052	1662,33	2,056	1662,33	1664,39	70,29	24,22
2053	1744,07	2,097	1744,07	1746,17	81,74	28,17
2054	1836,81	2,139	1836,81	1838,95	92,73	31,95
2055	1891,08	2,182	1891,08	1893,27	54,28	18,70
2056	1962,39	2,226	1962,39	1964,61	71,30	24,57
2057	2020,26	2,270	2020,26	2022,53	57,87	19,94
2058	2128,04	2,316	2128,04	2130,36	107,79	37,14
2059	2236,39	2,362	2236,39	2238,76	108,35	37,33
2060	2283,44	2,409	2283,44	2285,85	47,05	16,21
Investimento Total						562,11

No Cenário 2 o crescimento consumo de energia variou em $4,0\% \pm 2\%$. Na Tabela 4.6 observa-se que no ano de 2060 a produção de energia elétrica será de 2.283,44 TWh o que não será suficiente para suprir a nossa demanda elétrica juntamente com os BEV que corresponde a 2.285,85 TWh.

O total de BEV no ano de 2060 nas nossas projeções foi de 15.421.913 unidades. Se for considerado o estimado no Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2020a) esse número deveria ser no mínimo igual a 130 milhões de veículos leves para o ano de 2050. Se forem utilizados os dados da Tabela 4.2, o total de veículos é de 36.834 e o consumo é de 87,4 GWh, pode-se assim estimar.

$$Total\ consumo\ BEV\ 2060 = \frac{(87,4\ GWh * 130.000.000)}{36.834} \quad (7)$$

O que resultaria no Total de 308.465,00 GWh (308,46 TWh) e que se somado ao Consumo (crescimento) do ano de 2060 (2.283,44 TWh) resultaria em 2.591,91 TWh. No cenário 2, a nossa produção de energia elétrica não seria suficiente para suprir a nossa demanda considerando uma frota 100% de VE.

Assumiu-se assim que enquanto este aumento de produção de eletricidade ($4,0\% \pm 2\%$) fosse suficiente para suprir a demanda do consumo de energia, esta seria a produção de energia considerada. Caso o aumento de produção de energia não fosse suficiente para suprir a demanda, a eletricidade a ser produzida deveria ser igual ao aumento do consumo de energia. Portanto, para o Cenário 2 apresentado na Tabela 4.6, o crescimento orgânico da produção de energia foi suficiente para suprir à demanda até o ano 2048 (1.394,13 TWh). Ademais, o investimento necessário na infraestrutura de geração de eletricidade dos anos de 2021 a 2060 foi de R\$ 562,11 bilhões de reais.

Tabela 4.7 - Cenário 3 com consumo de energia variando em 6,0% ± 3,0%

Ano	Produção (TWh)	Consumo (BEV) (TWh)	Consumo (crescimento) (TWh)	Consumo Total (TWh)	Eletricidade para investir (TWh)	Investimento Total R\$ bilhões
2021	656,11	0,09	500,20	500,29	34,86	12,01
2022	683,21	0,009	504,21	517,50	27,10	9,34
2023	687,55	0,011	551,32	551,33	4,33	1,49
2024	695,52	0,014	571,92	571,93	7,98	2,75
2025	696,26	0,018	610,92	610,94	0,73	0,25
2026	699,63	0,022	664,09	664,12	3,37	1,16
2027	727,76	0,028	708,03	708,06	28,13	9,69
2028	752,26	0,034	744,51	744,55	24,50	8,44
2029	798,62	0,043	798,62	798,66	46,36	15,97
2030	851,89	0,053	851,89	851,94	53,26	18,35
2031	899,47	0,067	899,47	899,53	47,58	16,40
2032	972,66	0,083	972,66	972,74	73,19	25,22
2033	1025,60	0,104	1025,60	1025,71	52,94	18,24
2034	1088,22	0,129	1088,22	1088,35	62,62	21,58
2035	1151,08	0,161	1151,08	1151,24	62,86	21,66
2036	1195,34	0,201	1195,34	1195,54	44,26	15,25
2037	1252,47	0,251	1252,47	1252,72	57,13	0,00
2038	1326,36	0,312	1326,36	1326,68	73,90	0,00
2039	1408,36	0,390	1408,36	1408,75	82,00	28,26
2040	1473,52	0,486	1473,52	1474,01	65,16	22,45
2041	1597,28	0,606	1597,28	1597,88	123,75	42,64
2042	1685,42	0,755	1685,42	1686,17	88,14	30,37
2043	1743,69	0,942	1743,69	1744,63	58,27	20,08
2044	1882,97	1,174	1882,97	1884,14	139,28	47,99
2045	1945,09	1,464	1945,09	1946,55	62,13	21,41
2046	2017,98	1,826	2017,98	2019,80	72,89	25,12
2047	2130,70	1,862	2130,70	2132,57	112,73	38,84
2048	2236,41	1,900	2236,41	2238,31	105,70	36,42
2049	2361,82	1,938	2361,82	2363,76	125,41	43,21
2050	2526,55	1,976	2526,55	2528,52	164,73	56,76
2051	2700,49	2,016	2700,49	2702,50	173,94	59,94
2052	2794,99	2,056	2794,99	2797,04	94,50	32,56
2053	2894,53	2,097	2894,53	2896,63	99,54	34,30
2054	3042,48	2,139	3042,48	3044,62	147,95	50,98
2055	3265,62	2,182	3265,62	3267,80	223,14	76,89
2056	3472,50	2,226	3472,50	3474,72	206,87	71,28
2057	3683,72	2,270	3683,72	3685,99	211,23	72,78
2058	3959,61	2,316	3959,61	3961,92	275,88	95,06
2059	4253,37	2,362	4253,37	4255,73	293,76	101,22
2060	4545,83	2,409	4545,83	4548,24	292,47	100,78
Investimento Total						1295,17

No Cenário 3 o crescimento do consumo de energia variou em $6,0\% \pm 3,0\%$. Na Tabela 4.7 observa-se que no ano de 2060 a produção de energia elétrica será de 4.545,83 TWh o que não será suficiente para suprir a nossa demanda elétrica juntamente com os BEV que corresponde a 4.548,24 TWh.

O total de BEV no ano de 2060 nas nossas projeções foi de 15.421.913 unidades. Considerando o estimado no Plano Nacional de Energia (BRASIL, 2020a) esse número deveria ser no mínimo igual a 130 milhões de veículos leves para o ano de 2050. Utilizando os dados da Tabela 4.2, o total de veículos é de 36.834 e o consumo é de 87,4 GWh, pode-se assim estimar:

$$Total\ consumo\ BEV\ 2060 = \frac{(87,4\ GWh * 130.000.000)}{36.834} \quad (7)$$

O que resultaria no Total de 308.465,00 GWh (308,46 TWh) e que se somado ao Consumo (crescimento) do ano de 2060 resultaria em 4.854,29 TWh. Nesse Cenário 3, a produção brasileira de energia elétrica não seria suficiente para suprir a demanda considerando uma frota 100% de VE.

Assumindo que enquanto este aumento de produção de eletricidade ($6,0\% \pm 3,0\%$) for suficiente para suprir a demanda do consumo de energia, esta seria a produção de energia considerada. Caso o aumento de produção de energia não for suficiente para suprir a demanda, a eletricidade a ser produzida deveria ser igual ao aumento do consumo de energia. Portanto, para o Cenário 3 apresentado na Tabela 4.7, o crescimento orgânico da produção de energia foi suficiente para suprir à demanda até o ano 2029 (798,62TWh). Ademais, o investimento necessário na infraestrutura de geração de eletricidade dos anos de 2021 a 2060 foi de R\$ 1.295,17 bilhões de reais.

A Tabela 4.8 é um resumo dos quatro cenários escolhidos para esta pesquisa, com seus respectivos valores de:

- Produção de eletricidade;
- Demanda de eletricidade;
- 100% VE (demanda do consumo normal mais o acréscimo do consumo de 100% de VE);
- Produção = Demanda (em que ano o mínimo a ser produzido será igual ao consumo);

- Investimento de 2021 a 2060.

Tabela 4.8 - Resumo dos Cenários

Cenários	Produção TWh (2060)	Demanda TWh (2060)	100% BEV (TWh)	Produção = Demanda	Investimento 2021 a 2060
Cenário Base (2,5% a.a)	1.776,82	1.100,68	1.406,73	-	R\$ 356,40 bilhões
Cenário 1 (1,0% ± 0,5%)	1.776,82	750,80	1.056,85	-	R\$ 356,40 bilhões
Cenário 2 (4,0% ± 2%)	2.283,44	2.285,85	2.591,91	Ano 2048	R\$ 562,11 bilhões
Cenário 3 (6,0% ± 3,0%)	4.545,83	4.548,24	4.854,29	Ano 2029	R\$ 1.295,17 bilhões

5 CONCLUSÕES

Baseado nos conhecimentos desenvolvidos, os resultados apresentados é possível responder os objetivos específicos de desenvolver a revisão bibliográfica acerca da geração de energia, veículos elétricos e energias renováveis (mundial e nacional), de identificar a legislação que trata do assunto no Brasil, de verificar a relação entre o uso de veículos elétricos e a energia solar distribuída, utilizando a Correlação de Pearson e de analisar o impacto na matriz energética brasileira levando em consideração o crescimento dos VEs no Brasil por meio da metodologia de cenários.

Além deles também foi possível responder o objetivo geral levantado no início desta pesquisa, que foi identificar e analisar se o Brasil cumprirá o que está proposto nos Projetos de Lei 304/17 e/ou 454/17, se aprovados. Nos dois primeiros Cenários (base e 1) seria sim possível cumprir o que está proposto nos Projetos de Lei, visto que a nossa produção de eletricidade seria maior mesmo com a inclusão de 100% de Veículos a Bateria (BEV). No entanto, nos Cenários 2 e 3, isso não seria mais possível, visto que a nossa produção de eletricidade seria igual a nossa demanda nos anos de 2048 e 2029, respectivamente, isso sem contar a inclusão de 100% de BEV.

Além disso, o resultado da Correlação de Pearson, utilizada neste ensaio, mostra que o crescimento do número de VEs está correlacionado ao aumento da Geração Distribuída, especialmente da energia solar residencial, reforçando que essa tecnologia pode auxiliar o Brasil no fomento aos VE e no cumprimento do Acordo de Paris. Portanto, o uso de VE juntamente com a energia solar FV residencial é uma opção econômica na redução das emissões de CO₂, ficando claro que é necessário o aumento do fornecimento da energia solar FV no Brasil. Conclusão essa confirmada por Kobashi e Yarime (2019) e Kobashi *et al.* (2020).

Segundo IEA (2022c), a geração de eletricidade por fontes renováveis atingiu um recorde no ano de 2021 com 30% de participação mundial. O Brasil por ser um país rico em diversidade, principalmente em riquezas naturais e climáticas, tem potencial para ampliar esse percentual favorecendo um desenvolvimento mais sustentável e limpo.

Este estudo contribuiu para o conhecimento existente sobre os VEs no Brasil, suas possibilidades e oportunidades econômicas e ambientais. As limitações encontradas foram relacionadas aos dados de VE no Brasil, em grande parte à falta de informações completas sobre localização e tipo de combustível, o que refletiu na pesquisa. Estudos futuros podem fornecer uma visão mais ampla da geração de eletricidade por meio de fonte renováveis juntamente com VE no Brasil, bem como analisar quais seriam os impactos em diversas esferas da sociedade. Outro ponto a ser abordado em pesquisas futuras é quanto a capacidade produtiva das montadoras no país, elas serão capazes de pivotar de veículos a combustão interna para veículos elétricos? Se sim, conseguirão produzir a quantidade necessária de VE para substituir os VCI até 2040 ou 2060, conforme estabelecido nos Projetos de Lei?

É importante salientar ainda, a necessidade da capacitação dos recursos humanos para atender à demanda do aproveitamento das energias renováveis e o uso destas na eletromobilidade. Ademais os investimentos em infraestrutura de VE compreendem uma série de pormenores igualmente importantes pois “a estrutura de recarga compreende a implantação e padronização de postos específicos para este fim, regras de acesso, limite de tempo de recarga, procedimentos regulatórios e políticas para o comércio no mercado de distribuição” (BRASIL, 2020a).

Além de pensar na implementação é preciso lembrar toda a cadeia produtiva dos VE e que se o objetivo é minimizar os GEE é importante que a eletricidade utilizada em seu carregamento também venha de fontes limpas. Para tal é crucial a participação efetiva do governo em relação a políticas públicas para redução do preço dos VE, bem como de toda a cadeia produtiva levando em conta o contexto nacional e adequando a realidade brasileira.

Partindo desse pensamento, torna-se essencial a criação de legislação específica para a área de eletromobilidade tendo um olhar no percurso com metas e objetivos claros e definidos para fortalecer de forma saudável a eletromobilidade no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEEÓLICA (2021) Boletim de Geração Éolica 2021. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica/dados-abeeolica>>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

Abiogás (2022) Programa Nacional do Biogás e Biometano. Disponível em: <https://abiogas.org.br/biblioteca>. Acesso em: 26 de janeiro de 2023.

ABSOLAR (2020) Estatísticas e análises exclusivas do mercado solar fotovoltaico. Disponível em: <<https://www.absolar.org.br/mercado/>>. Acesso em: 30 Set 21.

ANEEL (2015) Agência Nacional de Energia Elétrica. Geração Distribuída, Brasília. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/geracao-distribuida>> Acesso em: 07 Set 21.

ANEEL (2016) Agência Nacional de Energia Elétrica. Micro e minigeração distribuída, Brasília. Disponível em:

<<https://www.aneel.gov.br/documents/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161>>. Acesso em: 07 Set 21.

ANEEL (2019) Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasil ultrapassa a marca de 1 GW em geração distribuída, Brasília. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/brasil-ultrapassa-marca-de-1gw-em-geracao-distribuida/656877>. Acesso em: 30 Set 21.

ANEEL (2022a) Agência Nacional de Energia Elétrica: Banco de dados. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZjM4NjM0OWYtN2IwZS00YjViLTlIMjItN2E5MzBkN2ZiMzVkIiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYTctNDZhMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBIMSIsImMiOiR>> Acesso em: 06 Out 22.

ANEEL (2022b) Agência Nacional de Energia Elétrica: Leilão de Energia. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/noticias/2022/leilao-de-energia-nova-a-5-tem-edital-aprovado-e-esta-confirmado-para-16-de-setembro>> Acesso em: 20 de out 22.

ANFAVEA (2022a) Linha do tempo da indústria automotiva brasileira. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/site/historia-da-industria-automotiva/>>. Acesso em: 30 set 21.

ANFAVEA (2022b) Anuário da Indústria Automobilística Brasileira. Disponível em: <<https://anfavea.com.br/site/anuarios/>>. Acesso em: 10 jan 22.

ANTF (2020) Associação Nacional de Transportes Ferroviários. Informações Gerais. Disponível em: <<https://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acesso em: 20 out. 2020.

BRASIL (2000) Decreto- lei no 9.991, de 24 de julho de 2000. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 25 de jul. 2000.

BRASIL (2015) Ministério de Minas e Energia, Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica, Brasília, Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/progd-confira-o-relatorio-final-do-grupo-de-trabalho>>. Acesso em: 07 Set 21.

BRASIL (2017a) Congresso. Senado. Projeto de Lei no 304/2017. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/130612#tramitacao_9972421>. Acesso em: 25 de jul. 2000.

BRASIL (2017b) Congresso. Senado. Projeto de Lei no 454/2017. Disponível em: <<https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/131656>>. Acesso em: 25 de jul. 20.

BRASIL (2018) Decreto-lei no 13.755, de 10 de dezembro de 2018. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 11 de dez. 2018.

BRASIL (2020a) Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2050. Brasília: MME/EPE, 2020a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050?>> Acesso em: 06 Set 21.

BRASIL (2020b) Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2029. Brasília: MME/EPE, 2020. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decenal-de-expansao-de-energia-2029>>. Acesso em: 07 Set 21.

BRASIL (2021a) Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – Inmetro. Programa Brasileiro de Etiquetagem. Brasília. Disponível em: <<https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/avaliacao-da-conformidade/programa-brasileiro-de-etiquetagem>>. Acesso em: 30 Set 21.

BRASIL (2021b) Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2021 ano base 2020. Brasília: MME/EPE, 2021. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 30 Set 21.

BRASIL (2021c) Ministério da Economia, Rota 2030, Mobilidade e Logística. Brasília. Disponível em : <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/setor-automotivo/rota-2030-mobilidade-e-logistica>>. Acesso em: 13 Set 21.

BRASIL (2022) Ministério da Infraestrutura: Banco de dados. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo-denatran/frota-de-veiculos-2021>>. Acesso em: 06 Set 21.

CAMILO, H.F., UDAETA, M.E.M., GIMENES, A.L.V, & GRIMONI, J.A.B. (2017) Assessment of photovoltaic distributed generation - issues of grid connected systems through the consumer side applied to a case study of Brazil. *Renew. Sustain. Energy Rev*, v. 71, p. 712-719, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.099>.

CEARÁ (Estado). Lei n.º 12.023, de 20 de novembro de 1992. Dispõe sobre o Imposto sobre Propriedade de Veículos Automotores- IPVA. Disponível em: <<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=121776>>. Acesso em: 10 Ago 21.

CHATURVEDI, V. & KIM, S. H. (2015) Long term energy and emission implications of a global shift to electricity-based public rail transportation system, *Energy Policy*, v. 81, p. 176-185. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.11.013>.

CHEN, L., MSIGWA, G., YANG, M., OSMAN, A.I., FAWZY, S., ROONEY, D.W. & YAP, P.-S. (2022) Strategies to achieve a carbon neutral society: a review. *Environmental Chemistry Letters*. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01435-8>.

CHIEN, F., KAMRAN, H.W., ALBASHAR, G. & IQBAL, W. (2021) Dynamic planning, conversion, and management strategy of different renewable energy sources: a sustainable solution for severe energy crises in emerging economies. *Int. J. Hydrog. Energy* 46 (11), 7745–7758. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.12.004>.

DEPARTAMENTO DE TRANSPORTE DO REINO UNIDO (2021) Consulting on ending the sale of new petrol, diesel and hybrid cars and vans. Disponível em: <<https://www.gov.uk/government/consultations/consulting-on-ending-the-sale-of-new-petrol-diesel-and-hybrid-cars-and-vans>>. Acesso em: 10 out 22.

DEBNATH, K. B. & MOURSHED, M. (2018) Forecasting methods in energy planning models. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 88, 2018, Pages 297-325, ISSN 1364-0321. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.002>.

DICKEY, D. A., & FULLER, W. A. (1979) Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series With a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427. doi:10.2307/2286348.

DOMINGUES, J. M, L. A. PECORELLI-PERES, M. S. BATISTA, M. SENA, A.P. VASCONCELLOS, L. ROCHA & N. AMINDE (2013) Tributação, Políticas Públicas e Eficiência Energética: Caso do Veículo Elétrico. *Revista Tributária e de Finanças Públicas*. Disponível em: <https://anapaulavasconcellos.files.wordpress.com/2013/05/eficiencia-energetica-tributacao-e-politicas-publicas-no-brasil_caso-do-veiculo-eletrico.pdf>. Acesso em 22 out. 2020.

DOUCETTE, R.T. & MCCULLOCH, M.D. (2011a) Modeling the CO₂ emissions from battery electric vehicles given the power generation mixes of different countries. *Energy Policy*, v.39, p. 803-811. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.054>.

DOUCETTE, R.T. & MCCULLOCH, M.D. (2011b) Modeling the prospects of plug-in hybrid electric vehicles to reduce CO₂ emissions. *Applied Energy*, v. 88, p. 2315-2323. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.01.045>.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE (2022) Matriz Energética e Elétrica. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 6 out 2021.

EV DATA BASE (2022a) Nissan Leaf. Disponível em: <<https://ev-database.org/car/1656/Nissan-Leaf>>. Acesso em: 10 jan 22.

EV DATA BASE (2022b) Porsche Taycan. Disponível em: <<https://ev-database.org/car/1393/Porsche-Taycan>>. Acesso em: 10 jan 22.

EV DATA BASE (2022c) Volvo XC40 Recharge Pure Electric. Disponível em: <<https://ev-database.org/car/1592/Volvo-XC40-Recharge-Pure-Electric>>. Acesso em: 10 jan 22.

EV DATA BASE (2022d) Mini Cooper SE. Disponível em: <<https://ev-database.org/car/1409/Mini-Cooper-SE>>. Acesso em: 10 jan 22.

EV DATA BASE (2022e) Audi E-tron. Disponível em: < <https://ev-database.org/car/1179/Audi-Q4-e-tron-35>>. Acesso em: 10 jan 22.

FENABRAVE (2022) Dados de Mercado. Informativo- Emplacamentos. Disponível em: <[Anuárioshttps://www.fenabreve.org.br/Portal/conteudo/emplacamentos](https://www.fenabreve.org.br/Portal/conteudo/emplacamentos)>. Acesso em: 10 jan 21.

FIGUEIREDO FILHO, D. B. & SILVA JUNIOR, J. A. (2010) Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). Revista Política Hoje, v. 18, n. 1. Disponível em: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/politica hoje/article/view/3852>>. Acesso em: 10 fev 21.

FINN, P.; FITZPATRICK, C. & CONNOLLY, D. (2012) Demand side management of electric car charging: benefits for consumer and grid. Energy, v. 42, p. 358-363. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.03.042>.

GELSOR, N., GELSOR, N., WANGMO, T., CHEN, Y., FRETTE, Ø., STAMNES, J. & HAMRE, B. (2018) Solar energy on the Tibetan Plateau: Atmospheric influences. Solar Energy, v. 173, n. July, p. 984–992, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.08.024>.

GLOBAL SOLAR ATLAS 2.0 (2019) Technical Report (English). Energy Sector Management Assistance Program Washington, D.C.: World Bank Group. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/529431592893043403/Global-Solar-Atlas-2-0-Technical-Report>. Acesso em: 20 jun 22.

GLOBAL WIND ATLAS 3.0 (2020). Offshore Wind Technical Potential. Disponível em: <https://energydata.info/dataset/offshore-wind-technical-potential>. Acesso em: 21 jun 22.

GLOBAL WIND REPORT (2022) Disponível em: < <https://gwec.net/global-wind-report-2022/>>. Acesso em: 21 jun 22.

GÖRANSSON, L.; KARLSSON, S. & JOHANSSON, F. (2010) Integration of plug-in hybrid electric vehicles in a regional wind-thermal power system. Energy Policy, v. 38, p. 5482- 5492. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.04.001>.

GREEN, R.C.; WANG, L. e ALAM, M. (2011) The impact of plug-in hybrid electric vehicles on distribution networks: A review and outlook. Renew. Sustain. Energy Rev, v. 15, p. 544–553. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.08.015>.

GREENER (2021) Estudo Estratégico de Geração Distribuída - Mercado Fotovoltaico. Disponível em: <<https://www.greener.com.br/wp-content/uploads/2021/01/Estudo-Estrategico-de-Geracao-Distribuida-2%C2%B0-sem-2020-Mercado-Fotovoltaico-1-5.pdf>>. Acesso em: 15 Set 21.

GURGEL P.C. (2020) Estudo da Híbridização CSP – Biomassa em diferentes sucoalcooleiras como forma de inserção da tecnologia no Brasil. Dissertação de Mestrado em Ciências Mecânicas. Publicação ENM.DM –, Programa de Pós-Graduação em Ciências Mecânicas, Universidade de Brasília –Faculdade de Tecnologia, Brasília, DF, 121 p.

HARRISON, P. (2018) European Climate Foundation - Fuelling Europe’s Future: How the transition from oil strengthens the economy, Europe. Disponível em: <https://www.camecon.com/wp-content/uploads/2018/02/ECF-Fuelling-Europe_EN_web.pdf>. Acesso em: 01 Set 21.

HARTMANN, N. & ÖZDEMİR, E.(2011) Impact of different utilization scenarios of electric vehicles on the German grid in 2030, *J. Power Sources*, v. 196, n. 4, p. 2311–2318, <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2010.09.117>.

HAWKINS, T.R.; SINGH, B.; MAJEAU-BETTEZ, G. & STRØMMAN, A.H. (2012) Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, v.17, p. 53-64, 2013. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>.

HE, F.; WU, D.; YIN, Y. & GUAN, Y. (2012) Optimal deployment of public charging stations for plug-in hybrid electric vehicles, *Transportation Research Part B: Methodological*, v. 47, p. 87-101, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2012.09.007>.

IEA (2019) *Solar Energy: Mapping the road ahead*, IEA. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/solar-energy-mapping-the-road-ahead>>. Acesso em: 15 set 21.

IEA (2020) International Energy Agency. *Evolution of solar PV module cost by data source*. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/evolution-of-solar-pv-module-cost-by-data-source-1970-2020>. Acesso em: 15 Set 21.

IEA (2021) *Global EV Outlook 2021*, IEA, Paris. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2021><https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2021>>. Acesso em: 10 jun 21.

IEA (2022a) *Russian supplies to global energy markets*, IEA, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/russian-supplies-to-global-energy-markets>>. Acesso em: 25 ago 22.

IEA (2022b) *Energy Statistics Data Browser*, IEA, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser>>. Acesso em: 25 ago 22.

IEA (2022c) *Renewable Energy Market Update - May 2022*, IEA, Paris. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-may-2022>>. Acesso em: 25 ago 2022.

IEA (2022d) *Renewable Electricity*, IEA, Paris. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/renewables-2022/renewable-electricity>>. Acesso em: 25 ago 22.

IEA (2022e) *Global EV Outlook 2022*, IEA, Paris. Disponível em: < <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022/executive-summary>>. Acesso em: 25 janeiro de 2023.

IRENA (2019a) *Renewable Power Generation Costs in 2018*. Disponível em: <https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2018/Jan/IRENA_2017_Power_Costs_2018.pdf> Acesso em: 25 ago 22.

IRENA (2019b) *Future of wind: Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects (A Global Energy Transformation paper)*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN: 978-92-9260-155-3.

IRENA (2019c) *International Renewable Energy Agency Innovation Outlook—Smart Charging for Electric Vehicles*. Disponível em: <<https://www.irena.org/publications/2019/May/Innovation-Outlook-Smart-Charging>> Acesso em: 15 Set 21 .

IRENA (2021) *International Renewable Energy Agency. Costs* Disponível em: <<https://www.irena.org/costs>> Acesso em: 15 Set 21.

IRENA (2022a) Disponível em: <<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy>>. Acesso em: 20 jun 22.

IRENA (2022b) International Renewable Energy Agency. Geothermal Disponível em: <<https://www.irena.org/geothermal>>. Acesso em: 20 jun 22.

IRENA (2022c) International Renewable Energy Agency. Ocean Energy. Disponível em: <<https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Ocean-energy>>. Acesso em: 20 jun 22.

IRENA (2022d) International Renewable Energy Agency. Statistical Profiles. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/Energy-Profiles>. Acesso em: 20 jun 22.

JAGANMOHAN, MADHUMITHA (2021) Solar PV - statistics & facts. Disponível em: <<https://www.statista.com/topics/993/solar-pv/>>. Acesso em: 30 Set 21.

JONG, PIETER DE; BARRETO, T.B.; TANAJURA, C.A.S.; KOULOUKOU, D.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; KIPERSTOK, A. & TORRES, E.A. (2019) Estimating the impact of climate change on wind and solar energy in Brazil using a South American regional climate model, *Renewable Energy*, v. 141, p. 390-401. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.086>.

KABIR, E.; KUMAR, P.; KUMAR, S.; ADELODUN, A.A. & KIM, K.-H. (2018) Solar energy: potential and future prospects. *Renew. Sustain. Energy Reviews*, v. 82, p. 894-900. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>.

KBB (2019) Brasileiros rodam em média 12,9 km no primeiro ano de uso de um veículo. Disponível em: <<https://www.kbb.com.br/detalhes-noticia/quanto-brasileiro-roda-carro-ano/?ID=1830>>. Acesso em: 15 jun 22.

KLOEPFFER, W. (2008) Life cycle sustainability assessment of products. *Int J Life Cycle Assess*, v. 13. <https://doi.org/10.1065/lca2008.02.376>.

KOBASHI, T & YARIME M. (2019) Techno-economic assessment of the residential photovoltaic systems integrated with electric vehicles: A case study of Japanese households towards 2030. *Energy Procedia*, v.158, p. 3802-3807. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.873>.

KOBASHI, T; SAY, K.; WANG, J.; YARIME, M.; WANG, D.; YOSHIDA, T. & YAMAGATA, Y. (2020) Techno-economic assessment of photovoltaics plus electric vehicles towards household-sector decarbonization in Kyoto and Shenzhen by the year 2030. *J Clean Prod*, v. 253. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119933>

LEMOS, L. F. L., STARKE, A. R., BOLAND, J., CARDEMIL, J.M., MACHADO, R.D. & COLLE, S. (2017). Assessment of solar radiation components in Brazil using the BRL model, *Renewable Energy*, v. 108, p. 569–580, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.077>.

LI, P.; HU, W.; XU, X.; HUANG, Q.; LIU, Z. & CHEN, Z. (2019) A frequency control strategy of electric vehicles in microgrid using virtual synchronous generator control. *Energy*, v. 189. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116389>.

LIMA, M.A.; MENDES, L.F.R.; MOTHÉA, G.A.; LINHARES, F.G.; DE CASTRO, M.P.P.; DA SILVA, M.G. & STHELA, M.S. (2020) Renewable energy in reducing greenhouse gas emissions: Reaching the

goals of the Paris agreement in Brazil, *Environmental Development*, v.33. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100504> .

LIU, ZHE; SONG, J.; KUBAL, J.; SUSARLA, N.; KNEHR, K.W.; ISLAM, E.; NELSON, P. & AHMED, S. (2021) Comparing total cost of ownership of battery electric vehicles and internal combustion engine vehicles. *Energy Policy*, v. 158. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112564>.

LONGO, M.; FOIADELLI, F. & YAÏCI, W. (2018) Electric Vehicles Integrated with Renewable Energy Sources for Sustainable Mobility. *New Trends in Electrical Vehicle Powertrains*, pp. 203–223. DOI: 10.5772/intechopen.76788.

LOPES, F. M., SILVA, H. G., SALGADO, R., CAVACO, A., CANHOTO, P. & COLLARES-PEREIRA, M. (2018) Short-term forecasts of GHI and DNI for solar energy systems operation: assessment of the ECMWF integrated forecasting system in southern Portugal, *Solar Energy*, v. 170, n. April, p. 14–30. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.05.039>.

MARANHÃO (Estado). Lei n.º 10.956, de 05 de dezembro de 2018. Altera a Lei n.º 7.799, de 19 de dezembro de 2002, que dispõe sobre o Sistema Tributário do Estado do Maranhão. Disponível em: < <https://sistemas1.sefaz.ma.gov.br/portalsefaz/files?codigo=13175> >. Acesso em: 10 Ago 21.

MATO GROSSO DO SUL (Estado). Lei n.º 1.810, de 22 de dezembro de 1997. Dispõe sobre os tributos de competência do Estado e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=135698> > Acesso em: 10 Ago 21.

MKHIZE S. & DORRELL D. G. (2019) Practical Limitations of Vehicle to Grid (V2G) Infrastructure. *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, p. 1616-1621. doi: 10.1109/ICIT.2019.8754965.

MWASILU, F.; JUSTO, J.J.; KIM, E.K.; DO, T.D. & JUNG, J.W. (2014) Electric vehicles and smart grid interaction: A review on vehicle to grid and renewable energy sources integration. *Renew. Sustain. Energy Rev*, v. 34, p. 501–516. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.031>.

NING, Y., KAZEMI, H. & TAHMASEBI, P. (2022) A comparative machine learning study for time series oil production forecasting: ARIMA, LSTM, and Prophet, *Computers & Geosciences*, Volume 164, 2022, 105126, ISSN 0098-3004, <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2022.105126>.

NASA (2022) Carbon Dioxide. Disponível em: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>>. Acesso em: 15 jul 22.

NDC (2015) Ministério das Relações Exteriores. Nationally Determined Contribution towards achieving the objective of the United Nations Framework convention on climate change. Brasília. Disponível em: <<https://www.gov.br/mre/pt-br/arquivos/documentos/clima/brasil-indc-portugues.pdf>>. Acesso em: 15 Set 21.

NEOCHARGE (2022) Número de carros elétricos no Brasil. Disponível em <<https://www.neocharge.com.br/carros-eletricos-brasil>>. Acesso em: 06 Out 21.

OICA (2022) International Organization of Motor Vehicle Manufacturers, 2021 production statistics. Disponível em: <<https://www.oica.net/category/production-statistics/2021-statistics/>>. Acesso em: 10 jul 22.

OLIVEIRA, L. S. (2001) Estimativa da radiação solar direta na incidência nas partições instantânea, horária e diária a partir da radiação solar global. Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciência Agrônômicas, Brasil. <http://hdl.handle.net/11449/90720>.

ONAT, N.C.; KUCUKVAR, M. & TATARI, O. (2015) Conventional, hybrid, plug-in hybrid or electric vehicles? State-based comparative carbon and energy footprint analysis in the United States, *Applied Energy*, v. 150, p. 36-49. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.04.001>.

ONU (2022) What is renewable energy? Disponível em: <<https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>>. Acesso em: 10 jul 22.

PARLAMENTO EUROPEU (2022) What is carbon neutrality and how can it be achieved by 2050. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/headlines/society/20190926STO62270/what-is-carbon-neutrality-and-how-can-it-be-achieved-by-2050>. Acesso em: 26 de Janeiro de 2023.

PARSONS, G.R.; HIDRUE, M.K.; KEMPTON, W. & GARDNER, M.P. (2014) Willingness to pay for vehicle-to-grid (V2g) electric vehicles and their contract terms. *Energy Econ*, v. 42, p. 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2013.12.018>.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V. & SOUZA, J. G. (2017) Atlas brasileiro de energia solar. 2.ed. São José dos Campos: INPE. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Acesso em: 15 jul 22.

PERNAMBUCO (Estado) no 10.849, de 28 de dezembro de 1992. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores. Disponível em: <https://www.sefaz.pe.gov.br/Legislacao/Tributaria/Documents/legislacao/Leis_Tributarias/1992/Lei10849_92.htm>. Acesso em: 10 Ago 21.

PIAUI (Estado) Instrução Normativa n.º 0001, de 09 de novembro de 2010. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores. Disponível em: <<https://www.sefaz.pi.gov.br/siteantigo/index.php/instrucao-normativa?download=9079%3Ainstrucao-normativa-001-10>>. Acesso em: 10 Ago 21.

PWC (2019) Estudo sobre carga tributária e encargos do setor elétrico brasileiro. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/estudos/setores-atividade/energia/2020/carga-tributaria-sobre-setor-eletrico.html>>. Acesso em: 01 Out 21.

QIAN, K.; ZHOU, C.; ALLAN, M. & YUAN, Y. (2011) Modeling of load demand due to EV battery charging in distribution systems. *IEEE Trans. Power Syst*, v.26, n.2, p. 802-810. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2057456>.

REN21 (2021) Renewables 2021 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-03-8. Disponível em: <<https://www.ren21.net/gsr-2021/>>. Acesso em: 15 jun 22.

REN21 (2022) Renewables 2022 Global Status Report (Paris: REN21 Secretariat). ISBN 978-3-948393-04-5. Disponível em: <<https://www.ren21.net/reports/global-status-report/>>. Acesso em: 10 jun 22.

REZVANI, Z.; JANSSON, J. & BODIN, J. (2015) Advances in consumer electric vehicle adoption research: a review and research agenda. *Transp. Res. D. Transp. Environ.*, v.34, p. 122-136. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2014.10.010>.

RICHARDSON, P.; FLYNN, D. & KEANE, A. (2012) Optimal charging of electric vehicles in low-voltage distribution systems. *IEEE Trans. Power Syst*, v.27, n.1, p. 268-279. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2158247>.

RIGO, PAULA D.; SILUK, J. C. M.; LACERDA, D.P.; ROSA, C.B. & REDISKE, G. Is the success of small-scale photovoltaic solar energy generation achievable in Brazil? *Journal of Cleaner Production*, v. 240, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118243>.

RILEY, CHARLES (2021) Europe aims to kill gasoline and diesel cars by 2035. *CNN Business*, Londres, 05 ago. 2021. Disponível em: < <https://edition.cnn.com/2021/07/14/business/eu-emissions-climate-cars/index.html>>. Acesso em: 10 out 22.

RIO DE JANEIRO (Estado). Lei nº 2.877, de 23 de dezembro de 1997. Dispõe sobre o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores. Disponível em: < <http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/CONTLEI.NSF/b24a2da5a077847c032564f4005d4bf2/fa1a422b516211130325657a0064293f?OpenDocument>>. Acesso em: 10 Ago 21.

RIO GRANDE DO NORTE (Estado). Lei nº 6.967, de 30 de dezembro de 1996. Dispõe sobre o Imposto de Propriedade de Veículos Automotores- IPVA e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=152475>>. Acesso em: 10 Ago 21.

RIO GRANDE DO SUL (Estado). Lei nº 8.115, de 30 de dezembro de 1985. Institui o Imposto sobre a Propriedade de Veículos Automotores - IPVA. Disponível em: <http://www.al.rs.gov.br/Legis/M010/M0100099.ASP?Hid_Tipo=TEXTO&Hid_TodasNormas=21460&hTexto=&Hid_IDNorma=21460>. Acesso em: 10 Ago 21.

RITCHIE, H., ROSER, M. & ROSADO, P. (2020) CO₂ and Greenhouse Gas Emissions. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 01 Set 21.

RITCHIE, H., ROSER, M. & ROSADO, P. (2022a) Energy. Disponível em: < (2022a) - <https://ourworldindata.org/energy>>. Acesso em: 15 out 22.

RITCHIE, H., ROSER, M. & ROSADO, P. (2022b) Greenhouse gas emissions. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/greenhouse-gas-emissions>>. Acesso em: 15 out 22.

ROJAS, R. G., ALVARADO, N., BOLAND, J., ESCOBAR, R. & CASTILLEJO-CUBEROS, A. (2019) Diffuse fraction estimation using the BRL model and relationship of predictors under Chilean, Costa Rican and Australian climatic conditions, *Renewable Energy*, p. 1–16, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.09.079>.

SAFAEI MOHAMADABADI H., G. TICHKOWSKY & A. KUMAR (2009) Development of a multi-criteria assessment model for ranking of renewable and non-renewable transportation fuel vehicles, *Energy*, Volume 34, Issue 1, Pages 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.09.004>.

SAIDUR, R., RAHIM, N. A., ISLAM, M. R., & SOLANGI, K. H. (2011). Environmental impact of wind energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(5), 2423-2430. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.02.024>.

SAMARAS, C. & K. MEISTERLING. (2008) Life cycle assessment of greenhouse gas emissions from plugin hybrid vehicles: implications for policy. *Environ. Sci. Technol.*, v. 42, n. 9, p. 3170-3176. <https://doi.org/10.1021/es702178s>

SÃO PAULO (Estado). Decreto nº 15.997, de 27 de maio de 2014. Estabelece a política municipal de incentivo ao uso de carros elétricos ou movidos a hidrogênio, e dá outras providências. Disponível em: <<https://leismunicipais.com.br/a/sp/s/sao-paulo/lei-ordinaria/2014/1599/15997/lei-ordinaria-n-15997-2014-estabelece-a-politica-municipal-de-incentivo-ao-uso-de-carros-eletricos-ou-movidos-a-hidrogenio-e-da-outras-providencias>>. Acesso em: 10 Ago 21.

SAUAIA, R. L. (2019) Energia solar fotovoltaica: panorama, oportunidades e desafios. Audiência Pública, Comissão de Minas e Energia – CME, Câmara dos Deputados. Brasília. Disponível em: <https://bit.ly/3DjzJDQ>. Acesso em: 15 Set 21.

SCHROEDER, A. & T. TRABER. (2012) The economics of fast charging infrastructure for electric vehicles. *Energy Policy*, v.43, p. 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.12.041>.

SERGIPE (Estado) no 7.655 de 17 de junho de 2013. Lex: coletânea de legislação e jurisprudência, Sergipe.

SILVA, G.D.P. DA & BRANCO, D.A.C. (2018) Modelling distributed photovoltaic system with and without battery storage: a case study in Belem, northern Brazil. *J. Energy Storage*, v. 17, p. 11-19. <https://doi.org/10.1016/j.est.2018.02.009>.

SORGATO, M.J.; SCHNEIDER, K. & RÜTHER, R. (2018) Technical and economic evaluation of thin-film CdTe building-integrated photovoltaics (BIPV) replacing façade and rooftop materials in office buildings in a warm and sunny climate. *Renew. Energy*, v. 118, p. 84-98. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.10.091>.

TABASSUM-ABBASI, M. PREMALATHA; TASNEEM ABBASI & S.A. ABBASI (2014) Wind energy: increasing deployment, rising environmental concerns. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 31 (Mar. 2014), pp. 270-288 [10.1016/j.rser.2013.11.019](https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.019).

UNFCCC (2018) What is the Paris agreement? Retrieved 12 Jan 2019 from United Nations Climate Change. Disponível em: <<https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>>. Acesso em: 06 Set 21.

VASSILEVA I. & CAMPILLO, J. (2017) Adoption barriers for electric vehicles: Experiences from early adopters in Sweden, *Energy*, v.120, p.632-641. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.119>.

WANG, S., YANG, H., PHAM, Q.B., KHOI, D.N. & NHI, P.T.T. (2020) An ensemble framework to investigate wind energy sustainability considering climate change impacts. *Sustainability* 12 (3). <https://doi.org/10.3390/su12030876>.

WANG, Y., WANG, D. & LIU, Y. (2017) Study on comprehensive energy-saving of shading and photovoltaics of roof added PV module. *Energy Procedia*, v. 132, p. 598-603. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.672>.

WWEA (2020) World Wind Power Deployment: Some Delays in 2020 due to Covid-19, but Bright Future Prospects. Disponível em: <<https://wwindea.org/world-wind-power-deployment-some-delays-in-2020-due-to-covid-19-but-bright-future-prospects/>>. Acesso em: 06 set 21.

YANG, Y., SOLGAARD, H.S. & HAIDER, W. (2016) Wind, hydro or mixed renewable energy source: Preference for electricity products when the share of renewable energy increases. *Energy Policy*, v. 97 (Oct. 2016), pp. 521-531, ISSN 0301-4215. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2016.07.030>.

YING YONG, J., RAMACHANDARAMURTHY, V. K., TAN, K.M. & MITHULANANTHAN, N. (2015) A review on the state-of-the-art technologies of electric vehicle, its impacts and prospects, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 49, p. 365-385. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.130>.

ZHU, Z. H., Z.Y. GAO, J.F. ZHENG & H.M.DU. (2016) Charging station location problem of plug-in electric vehicles, *Journal of Transport Geography*, v. 52, p. 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2016.02.002>.

APÊNDICE I – DADOS DO CRESCIMENTO DOS CARROS ELÉTRICOS BEV (*Battery Electric Vehicle*)

Tabela A.1- Dados Cumulativo dos BEV no Brasil

Período	Quantidade	Período	Quantidade	Período	Quantidade
mai/13	821	mai/16	1065	mai/19	1566
jun/13	826	jun/16	1074	jun/19	1585
jul/13	847	jul/16	1116	jul/19	1630
ago/13	871	ago/16	1127	ago/19	1708
set/13	877	set/16	1141	set/19	1872
out/13	879	out/16	1155	out/19	1941
nov/13	890	nov/16	1173	nov/19	2021
dez/13	894	dez/16	1186	dez/19	2140
jan/14	896	jan/17	1197	jan/20	2279
fev/14	896	fev/17	1200	fev/20	2435
mar/14	897	mar/17	1215	mar/20	2585
abr/14	897	abr/17	1226	abr/20	2617
mai/14	897	mai/17	1231	mai/20	2709
jun/14	898	jun/17	1236	jun/20	2846
jul/14	904	jul/17	1242	jul/20	3001
ago/14	907	ago/17	1251	ago/20	3105
set/14	909	set/17	1264	set/20	3234
out/14	913	out/17	1274	out/20	3426
nov/14	928	nov/17	1277	nov/20	3553
dez/14	931	dez/17	1282	dez/20	3675
jan/15	934	jan/18	1288	jan/21	3853
fev/15	944	fev/18	1292	fev/21	4055
mar/15	947	mar/18	1305	mar/21	4187
abr/15	950	abr/18	1310	abr/21	4281
mai/15	957	mai/18	1317	mai/21	4396
jun/15	965	jun/18	1345	jun/21	4655
jul/15	971	jul/18	1378	jul/21	5039
ago/15	975	ago/18	1388	ago/21	5327
set/15	979	set/18	1391	set/21	5666
out/15	986	out/18	1396	out/21	5973
nov/15	989	nov/18	1427	nov/21	6536
dez/15	1000	dez/18	1463	dez/21	7987
jan/16	1015	jan/19	1504	jan/22	7987
fev/16	1024	fev/19	1507	fev/22	8976
mar/16	1034	mar/19	1508	mar/22	10058
abr/16	1048	abr/19	1542	abr/22	11033

Tabela A.2- Previsão Acumulada de BEV no Brasil

Ano	BEV	Ano	BEV
2013	821	2037	96.298
2014	894	2038	120.078
2015	934	2039	149.732
2016	1015	2040	186.708
2017	1197	2041	232.815
2018	1288	2042	290.309
2019	1504	2043	362.000
2020	2279	2044	451.396
2021	3853	2045	562.868
2022	7987	2046	701.868
2023	4.383	2047	875.193
2024	5.465	2048	1.091.322
2025	6.814	2049	1.360.823
2026	8.497	2050	1.696.877
2027	10.596	2051	2.115.919
2028	13.212	2052	2.638.444
2029	16.475	2053	3.290.006
2030	20.544	2054	4.102.471
2031	25.617	2055	5.115.573
2032	31.943	2056	6.378.860
2033	39.831	2057	7.954.115
2034	49.667	2058	9.918.378
2035	61.932	2059	12.367.715
2036	77.227	2060	15.421.913