



**UNIVERSIDADE EVANGÉLICA DE GOIÁS – UniEVANGÉLICA PROGRAMA  
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SOCIEDADE, TECNOLOGIA E MEIO  
AMBIENTE (PPGSTMA)**

**Panorama das Fontes de Energias Renováveis: Contribuições  
para o Desenvolvimento Sustentável**

**Lucas Figueiredo Ribeiro**

**Anápolis**

**2023**

**Lucas Figueiredo Ribeiro**

**Panorama das Fontes de Energias Renováveis: Contribuições  
para o Desenvolvimento Sustentável**

Dissertação apresentada na Universidade Evangélica de Goiás – UNIEVANGÉLICA, como exigência do programa de Pós-Graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente para obtenção do título de Mestre.

**Orientador:** Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva

**Anápolis**

**2023**

R484

Ribeiro, Lucas Figueiredo.

Panorama das fontes de energias renováveis: contribuições para o desenvolvimento sustentável / Lucas Figueiredo Ribeiro – Anápolis: Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica, 2023.

117 p.; il.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva.

Dissertação (mestrado) – Programa de pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente – Universidade Evangélica de Goiás - UniEvangélica, 2023.

1. Planos energéticos

3. Fotovoltaica

I. Silva, Sandro Dutra e

2. Energias renováveis

4. Sustentabilidade

II. Título

CDU 504

Catálogo na Fonte

Elaborado por Rosilene Monteiro da Silva CRB1/3038



## FOLHA DE APROVAÇÃO

“PANORAMA DAS FONTES DE ENERGIAS RENOVÁVEIS: CONTRIBUIÇÕES  
PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL”

LUCAS FIGUEIREDO RIBEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Sociedade, Tecnologia e Meio Ambiente / PPGSTMA da Universidade Evangélica de Goiás/ UniEVANGÉLICA como requisito parcial à obtenção do grau de MESTRE.

Linha de pesquisa: **Desenvolvimento e Territorialidade**

Aprovado em 18 de setembro de 2023.

### Banca examinadora

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** SANDRO DUTRA E SILVA  
Data: 23/10/2023 11:42:35-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sandro Dutra e Silva  
Presidente/Orientador (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** GIOVANNI DE ARAUJO BOGGIONE  
Data: 23/10/2023 14:24:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Giovanni de Araújo Boggione  
Examinador Interno (UniEVANGÉLICA)

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** ANDRE EGÍDIO PIN  
Data: 23/10/2023 14:50:01-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Egídio Pin  
Examinador Externo (UniEVANGÉLICA)

## **Agradecimentos**

Agradeço a Deus, que é o autor da liberdade e o campeão dos oprimidos, que sempre esteve ao meu lado, mesmo nos vales mais profundos e nas noites mais tenebrosas. Sou grato por me propiciar a vida e por me dar saúde, constância e disciplina para conquistar os meus objetivos e por me honrar com excelentes oportunidades.

Agradeço muito aos meus pais, Adeval Ferreira Ribeiro e Silvânia Rosa de Figueiredo Ribeiro, que são o meu alicerce, sempre me propiciando a melhor educação possível dentro dos valores da humildade e, principalmente, da honestidade, que, nos momentos mais difíceis, me deram forças, não me deixando desistir - mesmo diante dos obstáculos. Sempre estiveram ao meu lado, me apoiando e me ensinando que a vida é cheia de desafios; e que cabe a mim ultrapassá-los e vencê-los de cabeça erguida. A eles devo toda esta conquista e dou-lhes o título de meus melhores professores. É por eles que faço a minha busca diária de estar constantemente no pódio.

Aos meus professores, por toda a dedicação distribuída nestes dois anos. Em especial, ao meu orientador: Professor Doutor Sandro Dutra e Silva. Pela sua disposição ao destinar-se com afinco para a realização deste trabalho, pela sua paciência e compreensão, as quais foram essenciais para o resultado obtido.

Agradeço a fomentadora FAPEG, pelo apoio financeiro e pela valiosíssima oportunidade.

Por fim, agradeço às pessoas que direta ou indiretamente estiveram ao meu lado, me apoiando e me dando forças para chegar até o final.

“Desculpas não vencem campeonatos.”

Harvey Specter

## **Resumo**

Esta dissertação explora o papel das fontes de energias renováveis na promoção do desenvolvimento sustentável. Ela se divide em três partes, que investigam as perspectivas das fontes de energia limpa e os desafios associados à sua adoção em todo o mundo. No início, é realizado um levantamento das fontes de energias renováveis, usando uma abordagem que combina a revisão da literatura com uma análise de dados de diferentes fontes, incluindo dados governamentais e organizações não governamentais, com o objetivo de entender o cenário global das energias renováveis. Em seguida, são analisados, em detalhes, os planos energéticos adotados por dois países importantes e um bloco econômico: o Brasil, os Estados Unidos e a União Europeia. O foco está na energia solar fotovoltaica, explorando seu crescimento global e seu potencial, especialmente no contexto brasileiro. É utilizada uma metodologia que inclui a análise de fontes bibliográficas, dados de instituições governamentais e não governamentais. Conclui-se que a energia solar fotovoltaica desempenha um papel fundamental na transição global para fontes de energia mais limpas. Embora desafios no setor energético ainda aconteçam, as fontes de energias renováveis são fundamentais para combater as mudanças climáticas. É importante que os objetivos dos planos energéticos sejam implementados de forma rápida e eficaz para atingir as metas ambientais propostas, além da adoção em larga escala da energia solar, a qual desempenha um papel crucial na redução das emissões de gases na atmosfera e na promoção de um futuro sustentável.

**Palavras-chave:** Planos Energéticos; Energias Renováveis; Fotovoltaica; Sustentabilidade.

## **Abstract**

This dissertation explores the role of renewable energy sources in promoting sustainable development. It is divided into three parts, which investigate the prospects of clean energy sources and the challenges associated with their adoption worldwide. Initially, a survey of renewable energy sources is conducted, using an approach that combines a literature review with an analysis of data from various sources, including governmental data and non-governmental organizations, with the aim of understanding the global scenario of renewable energies. Next, the energy plans adopted by two important countries and an economic bloc, Brazil, the United States, and the European Union, are analyzed in detail. The focus is on photovoltaic solar energy, exploring its global growth and potential, especially in the Brazilian context. A methodology that includes the analysis of bibliographic sources and data from governmental and non-governmental institutions is employed. It is concluded that photovoltaic solar energy plays a fundamental role in the global transition to cleaner energy sources. Although challenges in the energy sector still exist, renewable energy sources are crucial in combating climate change. It is important for the objectives of energy plans to be implemented quickly and effectively to achieve proposed environmental goals, in addition to the widespread adoption of solar energy, which plays a crucial role in reducing emissions of greenhouse gases into the atmosphere and promoting a sustainable future.

**Keyword:** Energy Plans; Renewable Energies; Photovoltaic; Sustainability.

## Lista de Gráficos

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1:</b> Os 10 países com a Maior Capacidade de Produção de Energia Renovável               | 20 |
| <b>Gráfico 2:</b> Aumento das Fontes Renováveis no Mundo nos Últimos 5 anos.....                     | 21 |
| <b>Gráfico 3:</b> Matriz Energética Mundial .....  | 22 |
| <b>Gráfico 4:</b> Crescimento da Energia Solar Fotovoltaica e Concentrada nos Últimos 5 anos .....   | 26 |
| <b>Gráfico 5:</b> Crescimento da Energia Hidro e das Usinas Mistas nos Últimos 5 anos.....           | 31 |
| <b>Gráfico 6:</b> Crescimento da Energia Hidro e das Usinas Mistas nos Últimos 5 anos.....           | 33 |
| <b>Gráfico 7:</b> Crescimento da Energia Eólica Onshore e Offshore nos Últimos 5 anos ....           | 36 |
| <b>Gráfico 8:</b> Países que mais Produzem Energia através do Vento.....                             | 38 |
| <b>Gráfico 9:</b> Crescimento da Biomassa nos Últimos 5 anos .....                                   | 41 |
| <b>Gráfico 10:</b> Maiores produtores de Bioenergia .....  | 43 |
| <b>Gráfico 11:</b> Evolução da Energia Oceânica nos Últimos 5 anos.....                              | 46 |
| <b>Gráfico 12:</b> Top 10 Países com Maior Capacidade de Produção de Energia Oceânica Acumulada..... | 48 |
| <b>Gráfico 13:</b> Crescimento da Energia Geotérmica nos Últimos 5 anos .....                        | 51 |
| <b>Gráfico 14:</b> Os Países que mais Produzem Energia Geotérmica.....                               | 53 |
| <b>Gráfico 15:</b> Matriz Energética Brasileira (2022).....  | 57 |
| <b>Gráfico 16:</b> Potencial de recursos e demanda de energia no PNE 2050 .....                      | 59 |
| <b>Gráfico 17:</b> Capacidade elétrica em megawatts das usinas offshore no mundo .....               | 64 |
| <b>Gráfico 18:</b> Matriz Energética dos EUA.....  | 72 |
| <b>Gráfico 19:</b> Porcentagem das Renováveis nos Estados Unidos .....                               | 73 |
| <b>Gráfico 20:</b> Matriz energética da União Europeia.....  | 78 |
| <b>Gráfico 21:</b> Crescimento solar em TWh até o ano de 2021 e a meta para atingir em 2030.....     | 87 |

## Lista de Figuras

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Velocidade Média Anual do Vento a 200m de altura..... | 62 |
| <b>Figura 2:</b> Mapa Interativo das Correntes de Vento no Brasil..... | 63 |
| <b>Figura 3:</b> Potencial fotovoltaico da China .....                 | 89 |
| <b>Figura 4:</b> Potencial fotovoltaico dos EUA .....                  | 90 |
| <b>Figura 5:</b> Potencial fotovoltaico do Japão.....                  | 91 |
| <b>Figura 6:</b> Potencial fotovoltaico da Alemanha.....               | 92 |
| <b>Figura 7:</b> Potencial fotovoltaico da Índia.....                  | 93 |
| <b>Figura 8:</b> Potencial fotovoltaico do Brasil .....                | 94 |
| <b>Figura 9:</b> Cinturão Solar Brasileiro .....                       | 95 |

# Sumário

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Panorama das Fontes de Energias Renováveis: Contribuições para o Desenvolvimento Sustentável.....</b> | <b>13</b> |
| Introdução .....   | 13        |
| Metodologia .....  | 15        |
| Objetivo Geral.....  | 16        |
| Objetivos Específicos .....  | 16        |
| Desenvolvimento.....   | 16        |
| <b>1. Explorando as Fontes de Energias Renováveis: Disponibilidade, Evolução e Classificação .....</b>   | <b>18</b> |
| 1.1. Recursos Renováveis: Abundância e Acessibilidade .....  | 19        |
| 1.2. Tendências e Progresso das Fontes Renováveis de Energia .....                                       | 19        |
| 1.3. Classificação das Fontes de Energia Renovável.....  | 23        |
| 1.3.1. Energia Solar.....  | 23        |
| 1.3.1.1. Modalidades de Geração.....   | 24        |
| 1.3.1.2. Avanço na Capacidade de Produção .....  | 26        |
| 1.3.1.3. Desafios do Setor.....  | 27        |
| 1.3.2. Energia Hidroelétrica.....  | 28        |
| 1.3.2.1. Modalidades de Geração.....   | 29        |
| 1.3.2.2. Avanço na Capacidade de Produção .....  | 30        |
| 1.3.2.3. Desafios do Setor.....  | 32        |
| 1.3.2.4. Maiores Produtores.....   | 32        |
| 1.3.3. Eólica .....  | 34        |
| 1.3.3.1. Modalidades de Geração.....   | 35        |
| 1.3.3.2. Avanço na Capacidade de Produção .....  | 35        |
| 1.3.3.3. Desafios .....  | 37        |

|   |           |
|---|-----------|
| 1.3.3.4. Maiores Produtores.....  | 37        |
| 1.3.4. Bioenergia.....  | 38        |
| 1.3.4.1. Modalidades de Geração.....  | 39        |
| 1.3.4.3. Desafios do Setor.....   | 41        |
| 1.3.4.4. Maiores produtores.....  | 42        |
| 1.3.5. Oceânica.....  | 43        |
| 1.3.5.1. Modalidades de Geração.....  | 44        |
| 1.3.5.2. Avanços na Capacidade de Geração.....  | 45        |
| 1.3.5.3. Desafios do Setor.....   | 46        |
| 1.3.5.4. Maiores Produtores.....  | 47        |
| 1.3.6. Geotérmica.....  | 49        |
| 1.3.6.1. Modalidades de Geração.....  | 49        |
| 1.3.6.2. Avanços na Capacidade de Geração.....  | 50        |
| 1.3.6.3. Desafios do Setor.....   | 52        |
| 1.3.6.4. Maiores Produtores.....  | 52        |
| <b>2. Planos Energéticos em Perspectiva: Abordagens Estratégicas e Desafios no Brasil, Estados Unidos e União Europeia.....</b> | <b>55</b> |
| 2.1. A Energia Renovável e os Planos Energéticos.....   | 55        |
| 2.2. Plano Energético Brasileiro.....   | 56        |
| 2.2.1. Projeção da Produção de Energia até 2050.....  | 58        |
| 2.2.2. Objetivos Gerais do PNE 2050.....  | 60        |
| 2.2.3. Fontes Renováveis na Transição Energética Brasileira.....  | 60        |
| 2.2.3.1. Hidroelétricas.....  | 60        |
| 2.2.3.1.1. Estimativas de Recursos.....   | 61        |
| 2.2.3.1.2. Desafios Principais.....   | 61        |
| 2.2.3.2. Eólica.....  | 61        |

|   |    |
|---|----|
| 2.2.3.2.1. Projetos Offshore.....                               | 63 |
| 2.2.3.2.2. Estimativas de Recursos .....                        | 65 |
| 2.2.3.2.3. Desafios Principais .....                            | 65 |
| 2.2.3.3. Solar.....   | 65 |
| 2.2.3.3.1. Estimativas de Recursos .....                        | 66 |
| 2.2.3.3.2. Desafios Principais .....                            | 67 |
| 2.2.3.4. Bioenergia .....                                       | 68 |
| 2.2.3.4.1. Estimativas de Recursos .....                        | 68 |
| 2.2.3.4.2. Desafios Principais .....                            | 68 |
| 2.2.3.5. Energia Nuclear.....                                   | 68 |
| 2.2.3.6. Carvão Mineral.....                                    | 69 |
| 2.2.3.6.1. Estimativas de Recursos .....                        | 70 |
| 2.2.3.6.2. Desafio principal .....                              | 70 |
| 2.3. Plano Energético dos Estados Unidos .....                  | 71 |
| 2.3.1. Principais Objetivos do Plano Energético Americano ..... | 71 |
| 2.3.2. Fontes Renováveis.....                                   | 73 |
| 2.3.2.1. Solar.....   | 73 |
| 2.3.2.2. Eólica.....  | 74 |
| 2.3.2.3. Geotérmica.....  | 74 |
| 2.3.2.4. Nuclear, Hidroelétrica e Oceânica.....                 | 74 |
| 2.4. Plano Energético da União Europeia.....                    | 76 |
| 2.4.1. Objetivos da UE .....                                    | 76 |
| 2.4.2. Acordo Verde Europeu .....                               | 77 |
| 2.4.2.1. Objetivos do Acordo.....                               | 77 |
| 2.4.3. Eficiência Energética.....                               | 77 |

|   |            |
|---|------------|
| 2.4.4. Fontes Renováveis do Bloco.....  | 78         |
| 2.4.4.1. Energia Solar .....  | 78         |
| 2.4.4.2. Biomassa e Biocombustíveis.....  | 79         |
| 2.4.4.3. Hidrogênio .....   | 79         |
| 2.4.4.4. Energia Eólica <i>onshore</i> e <i>offshore</i> .....                                    | 79         |
| 2.4.4.5. Energia Oceânica.....  | 80         |
| 2.4.5. Transição Energética .....   | 81         |
| <b>3. A Revolução Solar: Desenvolvimento e Potencial da Energia Solar Global e No Brasil.....</b> | <b>82</b>  |
| 3.1. Funcionamento da Célula Fotovoltaica.....  | 82         |
| 3.2. Células Fotovoltaicas, Painéis e Conjuntos.....  | 83         |
| 3.3. Eficiência de um Sistema PV .....  | 84         |
| 3.4. Crescimento Global da Fotovoltaica.....  | 86         |
| 3.5. Principais Produtores .....  | 88         |
| 3.5.1. China.....   | 88         |
| 3.5.2. Estados Unidos.....  | 89         |
| 3.5.3. Japão .....  | 90         |
| 3.5.4. Alemanha .....   | 91         |
| 3.5.5. Índia.....   | 92         |
| 3.5.6. Brasil.....  | 93         |
| 3.6. Energia Solar no Brasil .....  | 94         |
| 3.6.1. Estimativa dos Recursos Solares no Brasil .....  | 96         |
| 3.6.2. Perspectivas Tecnológicas no Setor Brasileiro .....  | 97         |
| 3.6.3. Principais desafios para o Setor Brasileiro .....  | 98         |
| <b>Conclusão.....</b>   | <b>98</b>  |
| <b>Referências.....</b>   | <b>100</b> |

# Panorama das Fontes de Energias Renováveis: Contribuições para o Desenvolvimento Sustentável

## Introdução

Ao longo da última década, ocorreu uma transformação significativa na indústria energética global, caracterizada por um rápido crescimento na exploração e utilização de fontes de energia renovável. Os avanços tecnológicos e industriais que estão acontecendo no setor renovável visam reduzir a emissão de gases de efeitos estufa. Esses gases são originários, principalmente, das fontes não renováveis, tais como petróleo e gás natural - fontes que tiveram um papel importantíssimo no século XX; mas no século XXI, já possuem um plausível prazo de validade.

Os gases de efeito estufa (GEEs) constituem um grupo de substâncias, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) e óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), que retêm calor na atmosfera, contribuindo para o aquecimento global e as mudanças climáticas. A Conferência das Partes (COP21) - conferência das Nações Unidas sobre as mudanças climáticas, realizada em Paris em 2015 - marcou um momento crucial na busca por soluções globais, resultando no Acordo de Paris.

Este acordo internacional objetiva limitar o aumento da temperatura global a menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais, com esforços para limitar o aumento a 1,5°C. Para alcançar esse objetivo, os países se comprometeram a reduzir suas emissões de GEEs e a promover a utilização em suas matrizes energéticas de fontes de energia renovável.

A COP21 também propôs a criação da iniciativa *Net Zero Carbon Emissions 2050*, ou NetZero 2050, que representa um compromisso global com o objetivo de eliminar completamente as emissões (diretas e indiretas) de gases de efeito estufa, especialmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Além disso, busca-se compensar quaisquer emissões remanescentes de GEEs por meio de ações como reflorestamento e captura de carbono, visando atingir um equilíbrio entre as emissões e a remoção de GEEs da atmosfera. Esses esforços coletivos refletem a importância da cooperação global na mitigação das mudanças climáticas e na transição para uma economia mais sustentável.

O recente relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) soou um alarme extremamente urgente, revelando que o planeta já se aqueceu 1,1°C. acima dos níveis pré-industriais. Esse marcante aumento na temperatura global é um indicador claro das mudanças climáticas que estão ocorrendo em um ritmo vertiginoso. Esse relatório aponta para a necessidade de ações imediatas e significativas a fim de mitigar os impactos das mudanças climáticas, reduzir as emissões de gases de efeito estufa e buscar soluções que garantam a sustentabilidade do nosso planeta e a qualidade de vida das futuras gerações.

A transição energética, baseada no aumento da capacidade de produção e no aprimoramento tecnológico das fontes de energia renovável, está ocorrendo de maneira gradual e constante. Frequentemente, a transição passa despercebida pela mídia e não gera a mesma repercussão imediata, como outros acontecimentos. No entanto, traz consigo mudanças profundas para o setor, conduzindo-nos em direção a um futuro mais sustentável e ecologicamente consciente. Este estudo oferece uma visão panorâmica da evolução das energias renováveis ao longo da história, explorando as inovações tecnológicas, marcos importantes e os países que têm se destacado nessa jornada.

As fontes de energia renováveis têm recebido destaque como alternativas viáveis aos combustíveis fósseis tradicionais, impulsionadas tanto pela necessidade de atenuar as mudanças climáticas quanto pela busca da independência energética, assim como os países da União Europeia, que estão almejando ser energeticamente autossustentáveis, para suprir a necessidade do gás natural russo.

Nesta dissertação, a qual está dividida em capítulos, estará sob investigação a trajetória de cada uma das principais fontes de energia renovável no primeiro capítulo, começando pela energia solar. Em seguida, examina-se o domínio da energia eólica, que tem se tornado uma fonte cada vez mais proeminente na matriz energética global

Será discutido o papel crucial da energia hidroelétrica, que remonta aos primórdios da humanidade, bem como o papel da bioenergia, que se baseia no aproveitamento de resíduos orgânicos e biomassa para a geração de eletricidade e calor. E, por fim, a investigação das energias oceânicas e geotérmicas, cujo potencial ainda está sendo explorado em grande escala.

No segundo capítulo, serão analisados os planos energéticos do Brasil, Estados Unidos e da União Europeia. Tal estudo visa identificar que medidas os países com altas emissões de gases de efeito estufa e, ao mesmo tempo, com um vasto potencial energético estão realizando para conter o avanço da temperatura mundial.

No último capítulo, será verificado o potencial solar fotovoltaico no mundo, os seus maiores produtores e o potencial em solo brasileiro, identificando, assim, a necessidade de investimento nessa área, a qual poderá suprir grande parcela da matriz energética e elétrica brasileira e mundial.

## **Metodologia**

A pesquisa foi conduzida em etapas distintas, com os objetivos de compreender as fontes de energia renováveis e os programas energéticos do Brasil, Estados Unidos e União Europeia; entender a situação atual da fonte solar no mundo e no Brasil de forma mais específica; e conjecturar outras fontes de energia renováveis existentes na atualidade.

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico abrangendo artigos relacionados às fontes de energia renováveis para a compreensão de um panorama. Em seguida, foram consultados sites governamentais e não governamentais para a análise dos dados publicados, proporcionando uma compreensão aprofundada do panorama renovável mundial.

Posteriormente, a investigação sobre cada fonte de energia renovável foi aprofundada por meio de artigos específicos. Além disso, buscas direcionadas foram realizadas para explorar de que forma os países estão aproveitando seus potenciais em termos de produção de energia limpa, bem como o alcance de suas metas estabelecidas pelas conferências internacionais de meio ambiente. Essas buscas foram complementadas com dados localizados em agências não governamentais com reconhecimento internacional, colocando, assim, uma dupla validação dos dados.

Essa abordagem metodológica permitiu uma análise ampla e detalhada do cenário renovável, combinando uma revisão da literatura científica especializada. A coleta e análise dos dados foram fundamentais a compreensão dos avanços e desafios no

campo das energias renováveis.

O segundo capítulo foi escrito utilizando a mesma metodologia bibliográfica já mencionada. Foram estudados e analisados os dados dos governos presentes e anteriores, para o entendimento de como os países estudados e o maior bloco econômico mundial estão se portando perante a crise energética mundial, se estão efetivamente buscando contribuir para o avanço energético limpo e renovável ou apenas estão utilizando estratégias para camuflar as suas atividades.

Por fim, o último capítulo foi escrito utilizando a mesma metodologia bibliográfica já mencionada, além de pesquisas técnicas para um melhor entendimento e explicação acerca da energia solar, visando ao contexto mundial e ao contexto brasileiro.

## **Objetivo Geral**

- Analisar o atual cenário das energias renováveis no mundo e a sua contribuição para desenvolvimento sustentável.

## **Objetivos Específicos**

- Explorar as fontes de energias renováveis e analisar a disponibilidade, evolução e classificação destas;
- Analisar os atuais Planos Energéticos do Brasil, Estados Unidos e União Europeia;
- Verificar o desenvolvimento e potencial da energia solar no mundo e no Brasil.

## **Desenvolvimento**

Parte da história da humanidade foi abastecida e energizada com energia renovável, pois a radiação solar (calor) foi a principal fonte de energia disponível. À medida que a civilização humana foi se desenvolvendo, o homem foi capaz de expandir a utilização da energia. A lenha fornecia calor - evidências que datam de 350.000 anos antes do presente, e, posteriormente, animais de tração começaram a ser usados, evidências disponíveis há pelo menos 10.000 anos antes do presente (SØRENSEN, 1991,

p. 8).

A energia eólica foi utilizada para veleiros na região do Mediterrâneo há cerca de 5.500 anos antes do presente. Evidências para o uso de moinhos de vento há cerca de 2.500 anos na Índia são discutidas, e a civilização grega, provavelmente, usou energia solar de algumas maneiras menores, pois Arquimedes escreveu um livro sobre o uso de espelhos ardentes, que, por exemplo, poderia ter sido usado como manual para acender o fogo de um altar. A energia hidráulica em pequena escala foi usada por Ctesibius - inventor mecânico e filósofo, natural de Alexandria, Antigo Egito - por exemplo, em função de um relógio d'água, por volta de 250 a.C. (SØRENSEN, 1991, p. 8).

O Renascimento europeu trouxe um interesse renovado pela tecnologia. Vários dispositivos que requerem energia tornaram-se de uso comum durante o século 16, e várias tecnologias de fornecimento de energia foram avançadas, baseadas, principalmente, na força muscular, energia eólica e energia hidrelétrica. Os fornos solares foram desenvolvidos durante o século XVIII, quando, em 1747, Cassini obteve pela primeira vez temperaturas acima de 1.000°C, tornando, assim, os fornos solares a tecnologia mais prática para derreter certos metais (SØRENSEN, 1991, p. 8-9).

Uma das questões fundamentais para o desenvolvimento sustentável está na inovação e desenvolvimento de tecnologias de conversão e aproveitamento de recursos energéticos naturais. A necessidade de energia para o desenvolvimento de um país é inquestionável, porém a aplicação de tecnologias que buscam o incremento da eficiência energética e a sustentabilidade da produção asseguram e possibilitam um desenvolvimento com impactos ambientais reduzidos (TURKENBURG, 2000, p. 220; BOGGIAN, RIBEIRO, VITAL, DUTRA & SILVA, 2022).

# 1. Explorando as Fontes de Energias Renováveis:

## Disponibilidade, Evolução e Classificação

A crescente demanda global por energia é um fenômeno multifacetado, alimentado por uma interseção de fatores socioeconômicos, tecnológicos e populacionais. O contínuo crescimento da população mundial, aliado ao desenvolvimento econômico e industrial em várias regiões do globo, tem conduzido a humanidade a um aumento significativo na utilização de recursos energéticos. Além disso, o avanço tecnológico e a expansão das atividades de infraestrutura exigem uma oferta constante de energia confiável para sustentar essas operações. A transição para práticas mais sustentáveis, como a adoção de energias renováveis, é uma resposta natural a essa demanda crescente, pois não apenas atenua os impactos ambientais, mas também contribui para a segurança energética em longo prazo.

De acordo com o relatório *Renewable Energy Market Update 2023* da Internacional Energy Agency (IEA), embora a expansão das fontes renováveis não esteja em pleno potencial de desenvolvimento devido a implicações no desenvolvimento de tecnologia, problemas na dinâmica de mercado, financiamento e problemas com a guerra da Rússia-Ucrânia, as fontes renováveis estão desempenhando um papel crucial na busca por uma matriz energética mais diversificada, capaz de atender às necessidades crescentes de energia, sem agravar ainda mais as mudanças climáticas. Portanto, a compreensão dessa complexa interação entre fatores demográficos, econômicos e tecnológicos é fundamental para abordar eficazmente o desafio de suprir a crescente demanda energética mundial (IEA, 2023, p. 3, 13).

Não há uma solução definitiva e direta para o problema das excedentes emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, todavia não convém esperar como lenitivo para esse problema um “milagre”. O influente pesquisador e professor de energias renováveis Mark Jacobson pontua que “a combustão é o problema e quando você continua queimando algo, o problema não irá embora”, além disso ele salienta que “o mundo poderá rapidamente se recuperar 100% através de fontes de energias renováveis, basta utilizar as fontes eólicas, solares e marítimas para que a recuperação ocorra.” (JACOBSON, 2023, pp. 4-6, 214-215, 233).

## **1.1. Recursos Renováveis: Abundância e Acessibilidade**

Energia limpa ou renovável é derivada de recursos naturais que são substituídos em uma escala maior do que é consumido. Há mais luz solar entrando no planeta do que jamais o homem será capaz de gastar; ou seja, é inesgotável (UN, 2021; EPE, 2019).

Além disso, as fontes de energia renováveis produzem menos problemas à natureza em relação às não renováveis, pois, quando o combustível fossilizado é queimado para a produção de energia, causa a emissão de dióxido de carbono, que, em seguida, contribui para a destruição da camada de ozônio e agravamento do aumento da temperatura do planeta (UN, 2021; EPE, 2019).

Já as fontes de energia renováveis produzem quantidades reduzidas ou inexistentes de gases de efeito estufa. Mesmo quando consideramos as emissões durante todo o ciclo de vida das fontes de energia limpa, abrangendo etapas como fabricação, instalação, operação e desativação, as emissões relacionadas ao aquecimento global provenientes das fontes de energia renováveis são insignificantes (IPCC, 2011).

Ademais, as fontes de energias renováveis estão se tornando acessíveis a muitos países, inclusive àqueles que não possuem grande potencial tecnológico ou econômico, podendo citar alguns dos países da África subsaariana, que possuem apenas 20% das suas nações eletrificadas, como Burkina Fasso, Burundi e Chad (ENERGY FOR GROWTH HUB, 2022). As fontes de energia renováveis também estão produzindo muitos empregos diretos e indiretos (IRENA, ILO, 2022).

## **1.2. Tendências e Progresso das Fontes Renováveis de Energia**

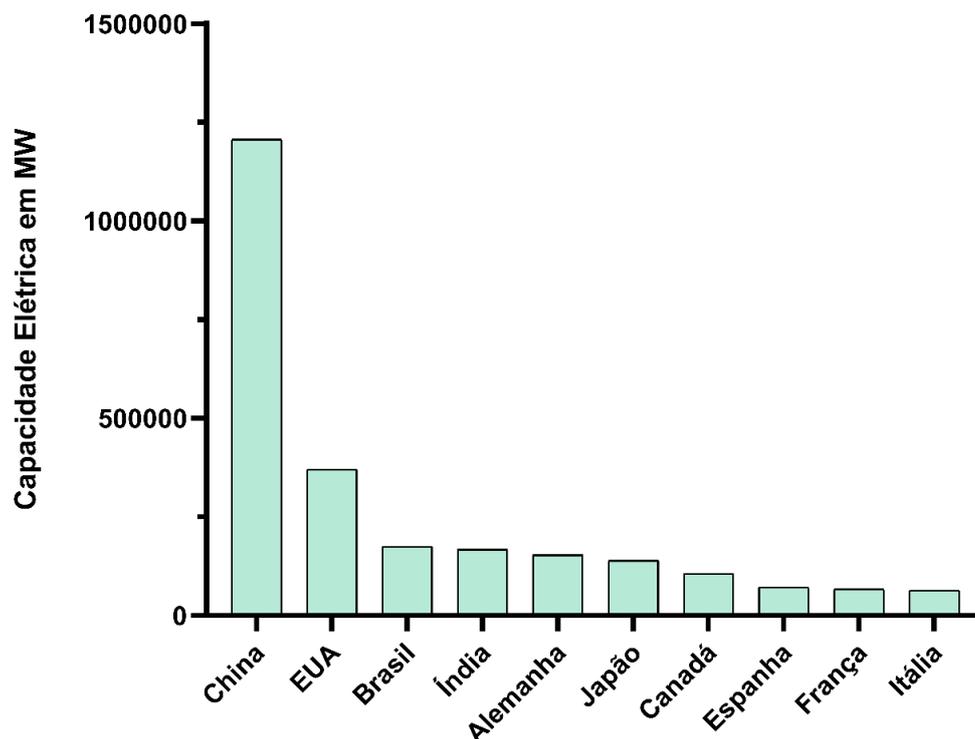
A tecnologia por trás das fontes de energia renováveis está sendo melhorada e adaptada a uma grande velocidade, principalmente quando se trata de solar e eólica (IEA, 2023).

Na Conferência das Nações Unidas sobre as Mudanças Climáticas de 2015 (COP 21), 195 países se comprometeram a aumentar sua dependência de fontes de energia renováveis em um esforço para reduzir sua produção de carbono e combater as mudanças

climáticas, visando a uma redução da temperatura mundial e um zero emissão de carbono até a data limite de 2050. Tal mudança é visível nos dados que serão demonstrados ao longo deste capítulo.

Tendo em vista os 195 países, o Gráfico 1 mostra os 10 países com maiores capacidades de produção de energia renovável no ano de 2022:

Gráfico 1: Os 10 países com a Maior Capacidade de Produção de Energia Renovável.



Fonte: [IRENA](#) - adaptado pelo autor.

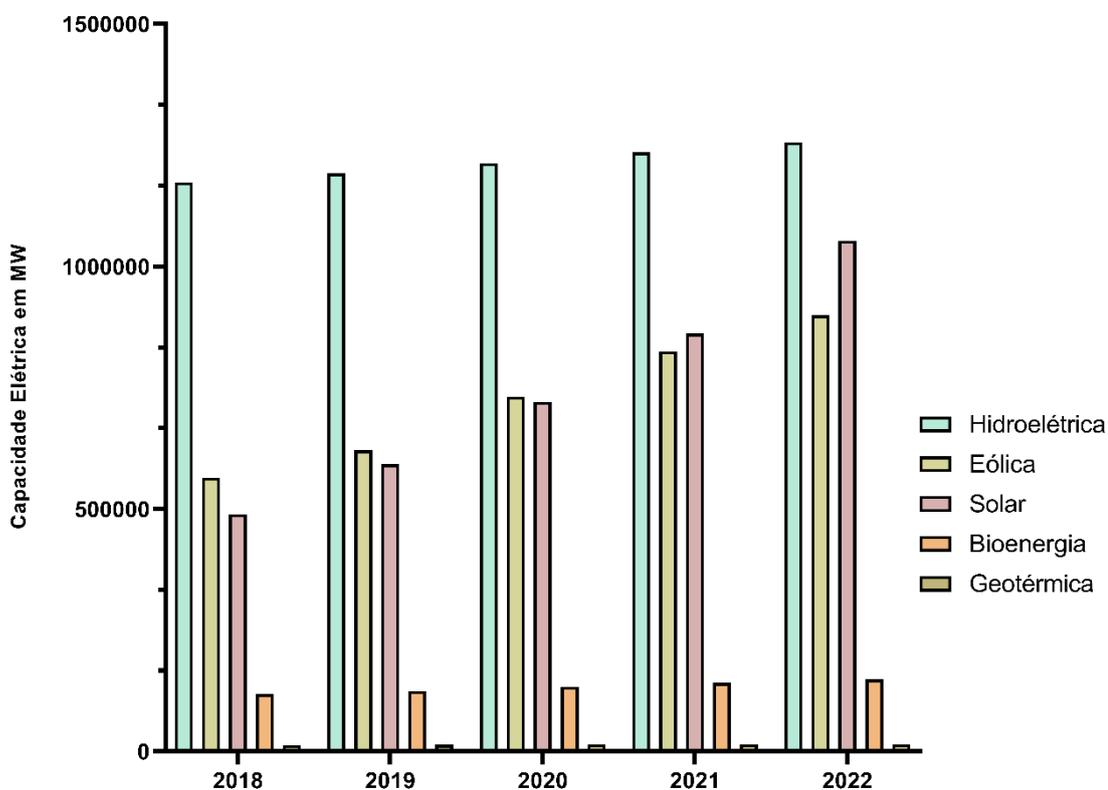
O Gráfico 1 mostra os países que mais produzem energia elétrica através de fontes de energia renováveis, como a solar, a eólica, a hidroelétrica, a bioenergia, a oceânica e a geotérmica.

O maior contraste do Gráfico 1 é que tanto a China como os Estados Unidos também estão localizados nas mesmas posições quanto a emissões de gases carbônicos; enquanto o Brasil está localizado como 12º maior produtor de CO2 (WISEVOTER, 2023).

Dentre as fontes de energia renováveis que mais obtêm destaque, a hidrelétrica, a solar fotovoltaica e a eólica *onshore* possuem a hegemonia no atual mercado, graças ao seu longo histórico de utilização, como também ao rápido avanço tecnológico e aos bons subsídios governamentais oferecidos para a implementação das fontes solar e eólica (IEA, 2022).

Tal argumento de crescimento pode ser visto no Gráfico 2, o qual mostra o crescimento de todas as renováveis dos últimos 5 anos.

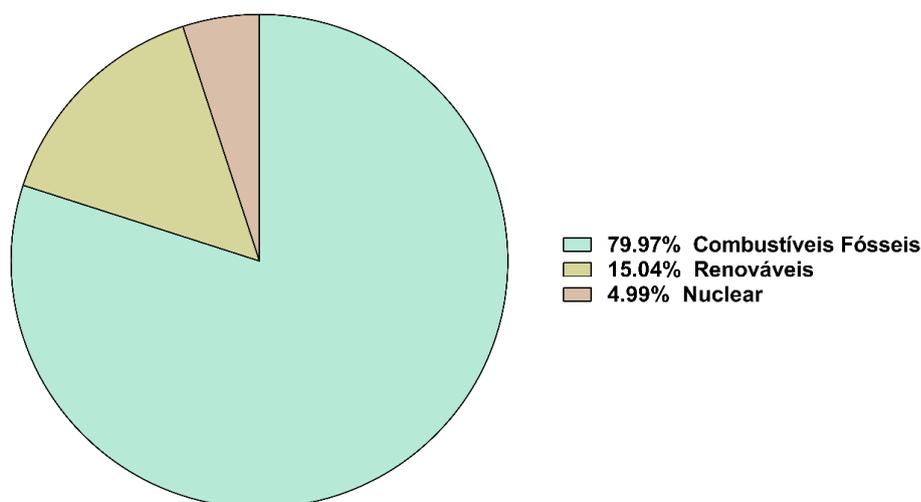
**Gráfico 2:** Aumento das Fontes Renováveis no Mundo nos Últimos 5 anos.



Fonte: [IRENA](#) - adaptado pelo autor.

A matriz energética mundial está com aproximadamente 15% da sua energia produzida a partir de fontes renováveis, o que pode ser considerado pouco, se comparado ao objetivo de uma matriz energética totalmente renovável, que almeja a paralização do aumento da temperatura global (IEA, 2022; UNFCC, 2023; IRENA, 2021).

**Gráfico 3:** Matriz Energética Mundial



Fonte: [IEA](#) – Adaptado pelo autor.

O Gráfico 3 apresenta a distribuição percentual das diferentes fontes energéticas utilizadas em nível mundial. Observa-se que a participação das energias renováveis, incluindo as fontes solar, eólica e oceânica, ainda é baixa.

Um exemplo, visando ao aumento da participação das energias renováveis na matriz mundial, é o projeto NetZero 2050, que busca eliminar completamente as emissões de dióxido de carbono até o ano de 2050. Além disso, anualmente ocorrem as Conferências das Partes (COP), nas quais os países discutem e revisam estratégias para enfrentar as mudanças climáticas. Outra iniciativa importante são os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela Organização das Nações Unidas (ONU), que buscam promover um desenvolvimento global sustentável. (IEA, 2021; UNFCC, 2023; ONU BRAZIL, 2021). As ODSs possuem um papel importante no auxílio da transição energética, além de definirem nortes para que os objetivos sustentáveis tornem-se realidade.

Essas ações demonstram como os países estão se adaptando ou procurando se adaptar a essa nova perspectiva energética. É fundamental que haja um esforço conjunto para aumentar a participação das fontes renováveis na matriz energética global, visando reduzir as emissões de gases de efeito estufa, garantir a segurança energética e promover um futuro sustentável para as próximas gerações (UNFCC, 2023; IRENA, 2021; IEA, 2022).

## 1.3. Classificação das Fontes de Energia Renovável

Destacam-se as seguintes categorias de fontes de energia renovável: solar, hídrica, eólica, biomassa, oceânica, geotérmica e hidrogênio verde. O hidrogênio verde está em fase de estudos e implementação inicial em alguns países, tais como Austrália, Estados Unidos e Canadá; portanto, há poucos dados concretos da sua utilização (HYDROGEN INSIGHT, 2023).

Essas fontes de energia são fundamentais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, promover a segurança energética e garantir um futuro sustentável para as próximas gerações (IRENA, 2021).

Ao compreender e explorar a diversidade das fontes de energia renováveis, torna-se mais rápido o movimento de impulsionar a transição energética global e avançar em direção a um futuro mais sustentável e ecologicamente consciente.

### 1.3.1. Energia Solar

O físico francês Alexandre-Edmond Becquerel, em 1839, descobriu o efeito fotovoltaico - que é a base de funcionamento da célula solar - ao observar que placas metálicas de platina ou prata, quando mergulhadas em um eletrólito e expostas à luz, produziam uma tensão que resulta numa corrente elétrica. Porém, apenas em 1954, a Bell Labs, empresa subsidiária da empresa finlandesa Nokia, conseguiu fabricar uma célula fotovoltaica com eficiência de 6% e capaz de produzir 5W. Após meio século deste evento, chegou-se a produzir uma célula com eficiência da ordem de 20% (RAZYKOV, FERKIDES, MOREL *et al.*, 2011; SAMPAIO, AMADO, MARQUES *et al.*, 2019).

O mercado de energia solar está em constante crescimento, e as universidades estão direcionando cada vez mais pesquisas para a energia solar do que para qualquer outra fonte de energia renovável<sup>1</sup>. A indústria solar desenvolve-se progressivamente

---

<sup>1</sup> Foi realizada uma cienciometria na base de dados Scopus em outubro de 2023, com as palavras-chave: Solar Energy, Wind Energy, Geothermal, Bioenergy, Marine Energy, Hydropower e Green Hydrogen. A pesquisa foi feita dentro do título, resumo e palavras-chave. Apenas artigos entravam no critério. Um range de 10 anos foi adotado, ou seja, apenas pesquisas de 2013-2023 entraram na estatística. A “solar energy”

graças à redução de custos e ao rápido avanço tecnológico que aproveita duas vantagens em relação às demais. A fabricação de módulos pode ser feita em grandes usinas, o que permite economias de escala, e é uma tecnologia muito modular, que pode ser implantada em quantidades muito pequenas de cada vez. Isso permite uma ampla gama de aplicações (IEA, 2022; IRENA, 2019; KUMAR, AGARWAL, 2022; IRENA, 2023; BOGGIAN, RIBEIRO, VITAL, DUTRA E SILVA, 2022).

Dentre todas as energias renováveis disponíveis, a solar poderá ser uma opção bastante viável para as demandas futuras, uma vez que é superior em termos de disponibilidade, custo-benefício, acessibilidade, capacidade eficiência em comparação com outras fontes. Um dos grandes fatores positivos da energia solar é que ela pode ser aproveitada diretamente do sol, mesmo em dias nublados ou chuvosos.

### **1.3.1.1. Modalidades de Geração**

- **Energia Solar Fotovoltaica (PV):**

Possui a sigla PV devido ao nome em inglês *Photovoltaic*. Por meio do uso de dispositivos eletrônicos, conhecidos como células solares, a conversão direta da luz solar em eletricidade é alcançada no campo da energia fotovoltaica. Até o final de 2020, a capacidade global de energia solar fotovoltaica (PV) alcançou 710 GW (IRENA, CPI, 2023). No mesmo ano, aproximadamente 125 GW de nova capacidade fotovoltaica foram adicionados em nível global, representando a maior adição de capacidade entre todas as fontes de energia renovável. A geração de energia fotovoltaica apresenta alta modularidade, abrangendo desde pequenos kits solares domésticos e instalações em telhados com capacidades de 3 a 20 kW, até sistemas com capacidade centenas de megawatts (IRENA, CPI, 2023).

Tal contexto de produção diversificada democratizou a geração de eletricidade, tornando-a mais acessível para diferentes classes socioeconômicas. Tanto que, atualmente, há mais investimentos privados do que públicos para a PV. No ano de 2020, 83% do investimento teve origem do setor privado, e apenas 17% do setor público

---

ficou em primeiro com o maior volume de artigos publicados no período, 55,578 *papers*, enquanto a segunda “geothermal” ficou com 19,499 *papers*, tendo uma diferença percentual de 64,92%, demonstrando o alto interesse pela fonte solar.

(IRENA, CPI, 2023).

O custo de fabricação de painéis solares sofreu uma queda na última década, tornando-os não apenas acessíveis, mas também a forma mais econômica de geração de eletricidade. Os preços dos módulos solares diminuíram em até 93% entre 2010 e 2020, exemplificando os avanços significativos na tecnologia fotovoltaica e sua crescente competitividade no mercado energético (IEA, 2022).

- **Energia Solar Concentrada (CSP):**

Possui a sigla CSP devido ao nome em inglês *Concentrated Solar Power*. O uso de espelhos para concentrar os raios solares é a base da energia solar concentrada (CSP), também denominada Heliotérmica. Esses raios solares concentrados aquecem um fluido, gerando vapor que aciona uma turbina para a produção de eletricidade. As usinas de CSP são projetadas para geração de energia em grande escala. No final de 2020, a capacidade global de CSP instalada se aproximava de 7 GW, representando um aumento de cinco vezes em comparação com 2010. Apenas cerca de 100 MW foram instalados no ano de 2020 (REN21, 2023).

Os sistemas CSP podem ser classificados de acordo com o mecanismo utilizado para concentrar a radiação solar: sistemas de concentração linear concentração pontual. A maioria dos sistemas existentes emprega coletores de calha parabólica, que são exemplos de sistemas de concentração linear. As torres solares, também conhecidas como torres de energia, são outro tipo amplamente utilizado de tecnologia CSP, embora representem apenas cerca de um quinto de todos os sistemas implantados até o final de 2020 (REN21, 2023).

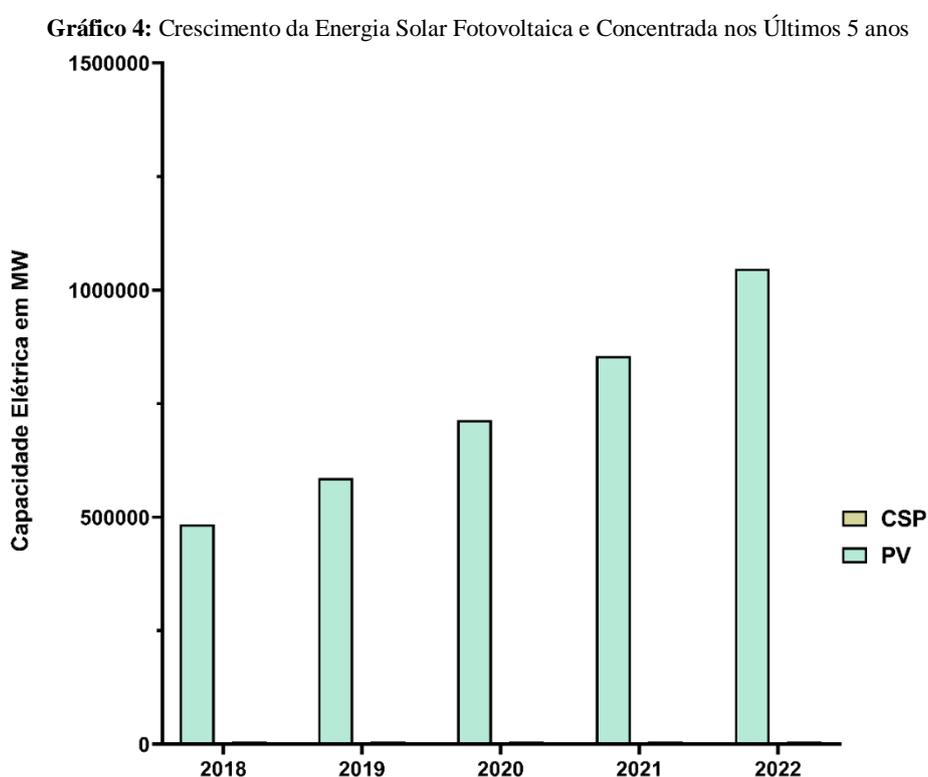
Uma das principais vantagens das usinas CSP em relação às usinas PV é a capacidade de armazenamento térmico usando sais fundidos, permitindo a geração de eletricidade mesmo após o pôr do sol. Conforme o mercado do setor avança, os custos do armazenamento de energia térmica diminuem, tornando economicamente viável a duração do armazenamento por até 12 horas. Esse fator resultou em um aumento na capacidade de armazenamento em sistemas CSP (REN21, 2023).

Além disso, o CSP, com seu armazenamento de energia térmica de baixo custo, possui a capacidade de integrar proporções mais elevadas de energia solar e eólica

variável. Embora, muitas vezes, subestimada, a tecnologia CSP pode desempenhar um papel cada vez mais importante no futuro do setor energético (REN21, 2023; IEA, 2022; AHMADI, GHAZVINI, SADEGHZADEH *et al.*, 2018).

### 1.3.1.2. Avanço na Capacidade de Produção

No ano de 2018, a capacidade através da fonte solar era de 486.771 MW. Já em 2022, a capacidade mundial foi 1.055.072 MW, ou seja, um aumento de 116,75 % na capacidade em relação ao ano de 2018 (IRENA, 2021; IEA, 2022); tal crescimento pode ser observado através do Gráfico 4. O crescimento da Solar Concentrada (CSP) é pequeno, em relação a Fotovoltaica (PV).



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

O Gráfico 4 demonstra o crescimento mundial da energia solar fotovoltaica e concentrada nos últimos 5 anos. Tal gráfico mostra um rápido avanço tanto tecnológico como na sua utilização, colocando, assim, a fotovoltaica como a *clean energy* que mais cresceu nos últimos 5 anos e que mais crescerá, junto com a eólica, de acordo com estudos do International Energy Agency, nos próximos anos (IRENA, 2023).

### 1.3.1.3. Desafios do Setor

- **Energia Solar Fotovoltaica (PV)**

**Eficiência:** Aumentar a eficiência das células solares na conversão da luz solar em eletricidade é um dos desafios. Embora avanços significativos estejam ocorrendo, as células solares ainda têm uma eficiência relativamente baixa em comparação com outras fontes de energia (CUI, YAO, ZHANG *et al.*, 2020; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

**Custo:** Embora o custo tenha diminuído consideravelmente nos últimos anos, ainda existe a necessidade de reduzir os custos de produção e instalação para tornar a energia solar ainda mais competitiva em comparação com as fontes convencionais (IEA, 2022; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

**Armazenamento de Energia:** A solar é intermitente e dependente da disponibilidade de luz solar. Portanto, o armazenamento eficiente de energia é um desafio para permitir o fornecimento contínuo de eletricidade em dias em que não há muita irradiação disponível (SHIMIZU, MASUTA, OTA *et al.*, 2010).

**Integração na Rede:** A energia solar é uma fonte distribuída, e sua adoção em larga escala requer infraestrutura adequada e sistemas de gestão que possam lidar com a variação de geração de energia (SHIMIZU, MASUTA, OTA *et al.*, 2010).

- **Energia Solar Concentrada (CSP)**

**Tecnologia de captura e armazenamento:** Desenvolver tecnologias eficientes para capturar e armazenar esse calor de forma econômica e eficaz (KHAN, ASFAND, AL-GHAMDI, 2022).

**Materiais de Alta Temperatura:** Os sistemas CSP exigem materiais capazes de suportar altas temperaturas sem degradação significativa. O desenvolvimento de materiais duráveis e de alto desempenho é um desafio importante para garantir a viabilidade e a eficiência desses sistemas (NATHAN, LEE, INGENHOVEN *et al.*, 2023).

**Custo e Escala:** A CSP é, geralmente, mais cara e complexa em comparação com a PV. A redução de custos e a ampliação da escala de implantação são desafios

significativos para tornar essa tecnologia mais competitiva e amplamente adotada (REN21, 2023; AHMADI, GHAZVINI, SADEGHZADEH *et al.*, 2018).

No capítulo 3, será tratado especificamente sobre a energia solar no mundo e no Brasil, mostrando os maiores produtores no ano de 2022/2023 e demais detalhes específicos da área.

### **1.3.2. Energia Hidroelétrica**

As barragens têm servido aos povos por pelo menos 5.000 anos, como atestam as ruínas de obras pré-históricas de irrigação na Mesopotâmia, no Egito, Índia e Pérsia. Então, depois de vários séculos, a água foi usada para aproveitar o poder da eletricidade. A primeira usina hidrelétrica foi construída em Appleton, Wisconsin - EUA, em 1882 (PEREIRA, GAMBETTI, 2023).

O sistema Hidroelétrico funciona captando a energia da queda d'água, armazenando água em um reservatório que é então liberado por uma represa, a qual pode controlar o fluxo da água caindo, ou seja, controlar a quantidade de energia liberada. A água aciona uma turbina, que aciona um gerador, fornecendo energia para ser conduzida pelas linhas de transmissão (IRENA, 2022; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

As instalações também podem ser divididas em barragens menores para diferentes finalidades, como uso noturno ou diurno, armazenamento sazonal ou reversíveis por bombeamento, tanto para bombeamento quanto para geração de eletricidade. Hidrelétricas sem barragens e reservatórios significam produzir em menor escala; normalmente, a partir de uma instalação projetada para operar em um rio sem interferir em seu fluxo. Os reservatórios hidrelétricos usualmente têm usos múltiplos: fornecimento de água potável, água para irrigação, controle de enchentes e secas, serviços de navegação e fornecimento de energia (IRENA, 2022; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

A energia hidrelétrica é, atualmente, a maior fonte de energia renovável do setor elétrico. Na Noruega, por exemplo, 99% da eletricidade vem de hidrelétricas. A maior usina hidrelétrica do mundo é a Barragem das 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 (IRENA, 2022; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

Essa fonte renovável baseia-se em padrões de chuva geralmente estáveis e pode ser impactada negativamente por secas induzidas pelo clima ou mudanças nos ecossistemas que afetam os padrões de chuva. A infraestrutura necessária para criar energia hidrelétrica também pode afetar os ecossistemas de maneira adversa, logo, pelo motivo do impacto gerado no meio ambiente, muitos consideram a hidrelétrica de pequena escala uma opção mais ecológica e especialmente adequada para comunidades em locais remotos, ao contrário das grandes hidroelétricas, que geram e poderão gerar, em longo prazo, desastres ambientais (IRENA, 2022; MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

### **1.3.2.1. Modalidades de Geração**

A geração hidrelétrica desempenha um papel vital no panorama energético global, fornecendo uma fonte renovável e sustentável de eletricidade. A diversidade de modalidades de geração hidrelétrica oferece uma gama de tecnologias e abordagens que exploram o potencial energético da água de maneiras distintas. Com o intuito de otimizar a utilização dos recursos hídricos, diversos métodos e tecnologias foram desenvolvidos, cada um com características específicas e aplicabilidade variada. A compreensão e exploração dessas modalidades são fundamentais para o avanço da energia hidrelétrica e seu papel na transição para uma matriz energética mais sustentável (IRENA, 2023).

Ao abordar as modalidades de geração hidrelétrica, examinam-se as diferentes tecnologias empregadas para aproveitar o potencial energético dos recursos hídricos. Desde as tradicionais usinas de reservatório convencional até as inovadoras hidrelétricas de fio d'água e de acumulação por bombeamento, cada modalidade possui características únicas que influenciam sua eficiência, capacidade de armazenamento e impacto ambiental. Além disso, também se exploram as modalidades emergentes, como as usinas de ondas, que buscam aproveitar o poder do mar para gerar eletricidade (IRENA, 2023).

Nesta dissertação, será utilizada a diferença de modalidades da *International Renewable Energy Agency* (IRENA):

- **Mixed Hydro Plants (Hidrelétricas Mistas)**

São usinas hidrelétricas que empregam diferentes tecnologias e modalidades de geração para aproveitar o potencial energético da água. Essas usinas podem combinar múltiplas formas de geração, como reservatórios convencionais, fio d'água e acumulação por bombeamento. A ideia por trás dessas usinas é otimizar a utilização dos recursos hídricos, adaptando a geração de energia de acordo com a disponibilidade e as características do fluxo de água (IRENA, 2023).

- **Renewable Hydropower (Hidrelétrica Renovável)**

Referente à geração de eletricidade a partir de fontes hidráulicas sustentáveis, essa modalidade de geração hidrelétrica utiliza tecnologias que têm um baixo impacto ambiental e são consideradas renováveis. Ela, geralmente, inclui usinas hidrelétricas convencionais com reservatórios, onde a água é armazenada em um lago artificial e usada para gerar eletricidade através de turbinas. Essa modalidade também pode englobar outras tecnologias renováveis, como fio d'água e pequenas centrais hidrelétricas que aproveitam o fluxo natural dos rios, sem a necessidade de grandes reservatórios (IRENA, 2023).

### **1.3.2.2. Avanço na Capacidade de Produção**

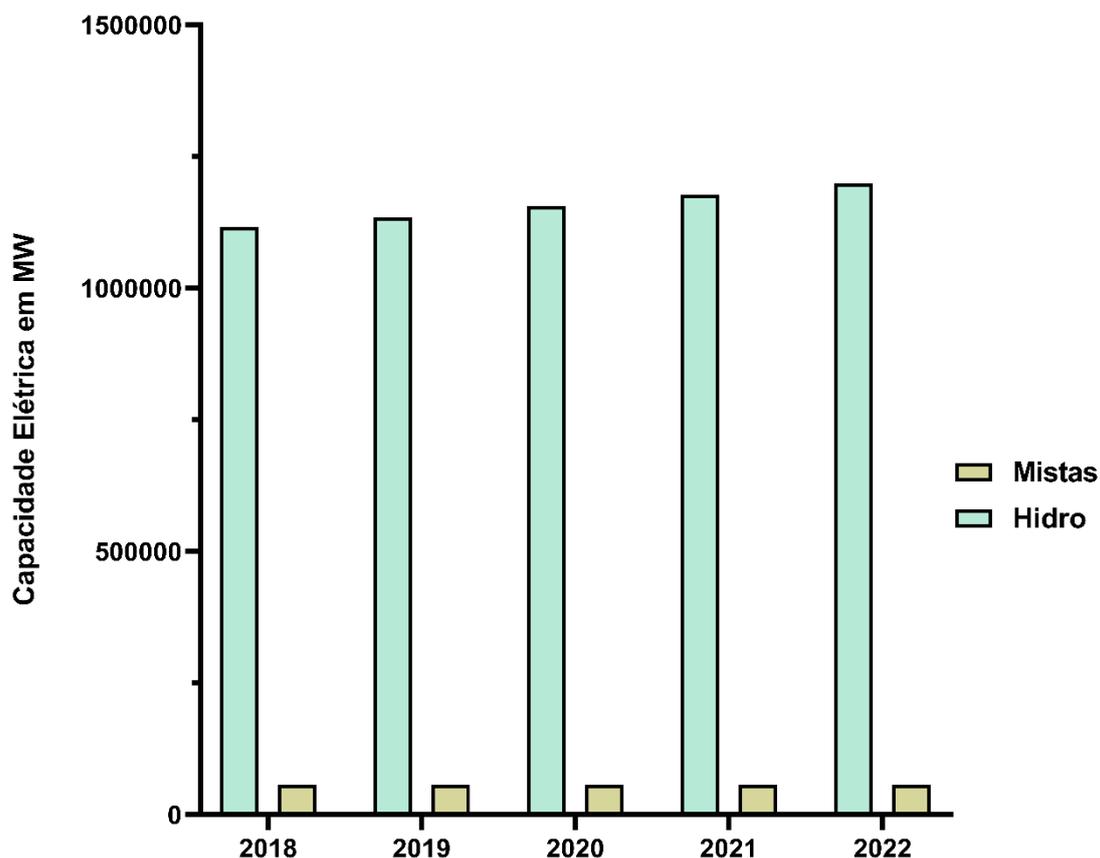
O avanço na capacidade de produção de energia hidrelétrica tem sido uma área de intenso desenvolvimento e inovação nas últimas décadas. A crescente demanda por eletricidade, juntamente com a necessidade de diversificar as fontes de energia e reduzir as emissões de gases de efeito estufa, impulsionou esforços contínuos para aumentar a capacidade de geração hidrelétrica de forma sustentável e eficiente (KOUGIAS, AGGIDIS, AVELLAN *et al.*, 2019).

Ao longo dos anos, avanços tecnológicos têm permitido melhorias significativas na capacidade de produção das usinas hidrelétricas. A aplicação de novas técnicas de engenharia, o uso de materiais mais eficientes e a adoção de sistemas de monitoramento avançados contribuem para aumentar a eficiência e a confiabilidade das usinas. Além disso, o desenvolvimento de métodos mais precisos de avaliação de recursos hídricos, análises de viabilidade e planejamento estratégico tem facilitado a identificação de locais adequados para a construção de novas usinas hidrelétricas (COUTO, OLDEN, 2018; KOUGIAS, AGGIDIS, AVELLAN *et al.*, 2019).

No ano de 2018, a capacidade mundial de produção das hidroelétricas

(*Renewable Hydropower + Mixed Hydro Plants*) era de 1.173,62 GW. Já em 2022 a capacidade mundial foi 1.255,45 GW. Ocorreu um aumento aproximado de 6.97% em relação a 2018. (IRENA, 2022). Este é demonstrado no gráfico 5 (IRENA, 2022).

Gráfico 5: Crescimento da Energia Hidro e das Usinas Mistas nos Últimos 5 anos



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

No contexto da transição energética global em direção a fontes de energia mais sustentáveis, é crucial compreender o avanço diferenciado na capacidade de produção de energia hidroelétrica entre a *Renewable Hydropower* e as *Mixed Hydro Plants* nos últimos 5 anos, como pode ser visto no Gráfico 5. A *Renewable Hydropower* é uma modalidade de geração consolidada; logo, já apresenta um crescimento notável, buscando alinhar com as metas estabelecidas pelo NETZERO 2050 (IRENA, 2023).

O crescimento da *Renewable Hydropower* é resultado de uma série de fatores técnicos, econômicos e geográficos que estão favorecendo a sua expansão. A base sólida de infraestrutura, aliada a décadas de pesquisa e desenvolvimento, proporciona auxílio

na implementação de projetos e na expansão da capacidade (KOUGIAS, AGGIDIS, AVELLAN *et al.*, 2019).

A modalidade das *Mixed Hydro Plants* apresenta um crescimento lento. Tal modalidade combina a geração hidroelétrica com outras fontes de energia, como solar, eólica ou térmica. Esse tipo de arranjo enfrenta desafios relacionados à integração de múltiplas fontes e à otimização de operações conjuntas. Além disso, a necessidade de desenvolver e aprimorar tecnologias híbridas requer investimentos consideráveis em pesquisa e desenvolvimento (IRENA, 2023).

### 1.3.2.3. Desafios do Setor

O setor hidroelétrico, tal como os demais setores renováveis, abrange diferentes aspectos da tecnologia, tais como:

**Impactos Ambientais:** A construção de grandes represas pode resultar em impactos ambientais significativos, como a perda de habitats aquáticos e terrestres, alterações na dinâmica dos rios e deslocamento de comunidades locais. Equilibrar a produção de energia hidroelétrica com a preservação ambiental é um desafio (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

**Mudanças Climáticas e Variações Hidrológicas:** As mudanças climáticas afetam os padrões de chuva e a disponibilidade de água em muitas regiões. Essas variações hidrológicas podem afetar a capacidade de geração de energia, exigindo adaptação e planejamento (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

**Tecnologias e Inovação:** A busca por tecnologias eficientes, sustentáveis e de baixo impacto ambiental é constante no setor hidroelétrico. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento buscam melhorar a eficiência das usinas e reduzir os impactos ambientais (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

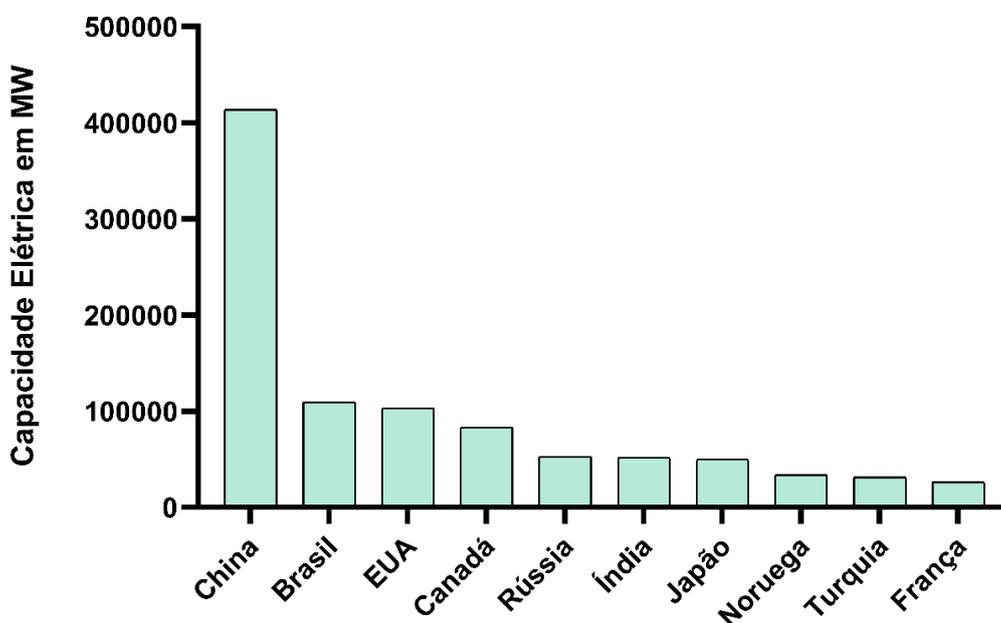
### 1.3.2.4. Maiores Produtores

Frequentemente, os países têm investido no desenvolvimento dessa fonte renovável, visando atender às crescentes demandas por eletricidade e reduzir as emissões de GEE. Neste contexto, serão examinados os países que se destacam na produção de energia hidroelétrica, considerando sua capacidade instalada. No Gráfico 6, são

apresentados os principais países envolvidos na produção hidroelétrica.

**Gráfico 6:** Crescimento da Energia Hidro e das Usinas Mistas nos Últimos 5 anos

Entre os países com maior capacidade hidroelétrica, destacam-se a China, Brasil,



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

EUA, Canadá, Rússia, Índia, Japão, Noruega, Turquia e França (IRENA, 2022). Neste sentido, os casos do Brasil, Índia e Noruega são detalhados, pois oferecem perspectivas sobre a produção renovável em diferentes contextos geográficos, econômicos e ambientais.

O Brasil se destaca como um dos principais produtores de energia hidroelétrica, devido às suas extensas bacias hidrográficas e ao desenvolvimento de usinas hidrelétricas de grande porte (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2022). A energia hidroelétrica desempenha um papel fundamental na matriz energética brasileira, representando uma parcela significativa da capacidade instalada e da geração de eletricidade no país (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2023). O Brasil possui expertise na construção e operação de usinas hidrelétricas, com destaque para a Usina Hidrelétrica de Itaipu, uma das maiores do mundo em capacidade de geração. O país também enfrenta desafios relacionados à sustentabilidade ambiental e ao impacto socioambiental desses empreendimentos (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

A Noruega é reconhecida por sua liderança em energia renovável, especialmente na produção hidroelétrica. O país possui um bom potencial hidrelétrico, que é explorado de forma sustentável para a geração de eletricidade (STATKRAFT, 2021). A Noruega está adotando políticas e práticas avançadas de gestão dos recursos hídricos, equilibrando a produção de energia com a preservação do meio ambiente e dos ecossistemas. A geração de energia do país conta com 92% da sua matriz, sendo abastecida através das hidroelétricas (IEA, 2022).

A Índia busca expandir sua capacidade de produção de energia hidroelétrica para atender à crescente demanda por eletricidade e promover o desenvolvimento sustentável do país, que possui um enorme potencial hidroelétrico. O governo indiano investe em políticas e programas para incentivar o investimento no setor hidroelétrico, promovendo a participação do setor privado, facilitando, também, a implementação de projetos. (IEA, 2021).

### **1.3.3. Eólica**

Sua utilização remonta a séculos, quando os moinhos de vento foram os primeiros dispositivos a aproveitar o poder do vento para realizar tarefas como moagem de grãos e bombeamento de água. Ao longo dos anos, a engenhosidade humana evoluiu e, na década de 1880, foi criada a primeira turbina eólica com a finalidade específica de gerar eletricidade (IEA, 2022; IRENA, 2022).

A energia eólica é originada da transformação da energia cinética do vento em energia elétrica. Esse processo ocorre por meio de turbinas eólicas, nas quais as pás são movidas pela força do vento, gerando energia mecânica. Essa energia é então convertida em eletricidade por meio de um sistema de transmissão, tornando possível a sua utilização (IEA, 2022; IRENA, 2022).

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a necessidade de diversificar a matriz energética impulsionaram o interesse global pela energia eólica. Seu potencial de mitigação dos impactos ambientais associados à geração convencional de eletricidade, juntamente com a possibilidade de reduzir a dependência de combustíveis fósseis, tornou-se uma solução atrativa para a transição energética (IEA, 2022; IRENA, 2019). A energia eólica está contribuindo para a diversificação da matriz energética global e para a redução

das emissões de gases de efeito estufa.

### **1.3.3.1. Modalidades de Geração**

Duas modalidades existem com o intuito de otimizar sua captação e aproveitamento, adaptando-se às diferentes condições geográficas, ambientais e técnicas. Essas modalidades englobam tanto a instalação das turbinas em terra firme, conhecida como energia eólica *onshore*, quanto sua implementação em ambientes oceânicos, denominada energia eólica *offshore* (IEA, 2022).

- **Onshore**

Refere-se à instalação de turbinas em terra firme, geralmente em áreas rurais, montanhosas ou costeiras. Tal modalidade está sendo adotada em vários países do mundo devido à disponibilidade de áreas terrestres adequadas para a instalação de parques eólicos (DEPARTMENT OF ENERGY, 2019).

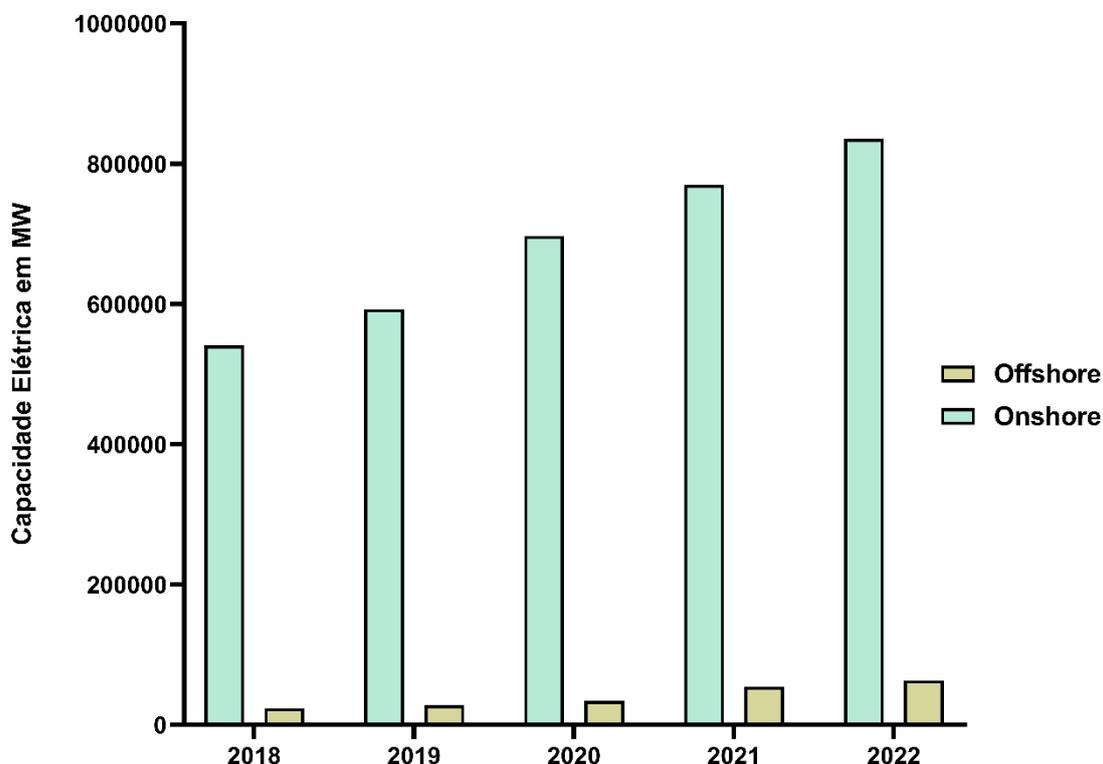
- **Offshore**

Refere-se à instalação de turbinas eólicas no mar. Visando ao objetivo de otimizar as tecnologias já existentes e de se aproveitar os seu pleno potencial, pesquisadores e empresas privadas estão aumentando o investimento nessa categoria, devido ao aproveitamento de ventos mais fortes - os quais a costa dos países recebem - e à disponibilidade de áreas adequadas nessas regiões (DEPARTMENT OF ENERGY, 2019).

### **1.3.3.2. Avanço na Capacidade de Produção**

O setor eólico teve um avanço na capacidade de produção nos últimos 5 anos. Impulsionado por avanços tecnológicos, incentivos governamentais, tanto a energia *onshore* quanto a *offshore* obtiveram evoluções em sua capacidade. Essa expansão reflete a crescente confiança na viabilidade e no potencial da energia eólica como uma fonte limpa e sustentável de eletricidade. Será explorado, através do Gráfico 7, o crescimento da capacidade de produção de energia eólica nos últimos 5 anos.

Gráfico 7: Crescimento da Energia Eólica Onshore e Offshore nos Últimos 5 anos



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

O Gráfico 7 mostra que a capacidade *onshore* cresceu de 540 GW em 2018 para 836 GW em 2022, enquanto a *offshore* cresceu de 23 GW em 2018 para aproximadamente 63 GW em 2022. A energia eólica é a fonte de energia renovável que mais cresce no mundo (IRENA, 2022).

Nestes cinco anos, a energia eólica expandiu rapidamente a sua capacidade de produção elétrica. Tal crescimento é atribuído a alguns fatores, como a redução de custos, as políticas de apoio e as metas globais, juntamente com a conscientização ambiental (IRENA, 2023; UNFCCC, 2015).

Tais fatores combinados contribuem para o crescimento da energia eólica. À medida que a demanda por energia limpa continua a crescer e os avanços tecnológicos prosseguem, é esperado que a energia eólica continue a ser otimizada, para que continue a desempenhar um papel fundamental na transição global (IRENA, 2023).

### 1.3.3.3. Desafios

- **Onshore**

**Restrições de Espaço:** Encontrar áreas adequadas para a instalação de parques eólicos *onshore* é um desafio devido à limitação de espaço disponível em áreas terrestres (IEA, 2022).

**Ruído e Impacto Visual:** A proximidade de turbinas eólicas *onshore* a áreas residenciais geram preocupações relacionadas ao ruído e ao impacto visual, afetando a aceitação social e a implementação de projetos (IEA, 2022).

- **Offshore**

**Ambientes Marinhos Adversos:** As condições marítimas, como ventos mais fortes, ondas e corrosão, aumentam os desafios técnicos e operacionais para a instalação, manutenção e reparo (IEA, 2022).

**Custos de Instalação e Manutenção:** A instalação de turbinas eólicas *offshore* envolve custos significativos, tendo em vista a necessidade de estruturas especializadas, equipamentos de instalação e logística complexa (IEA, 2022).

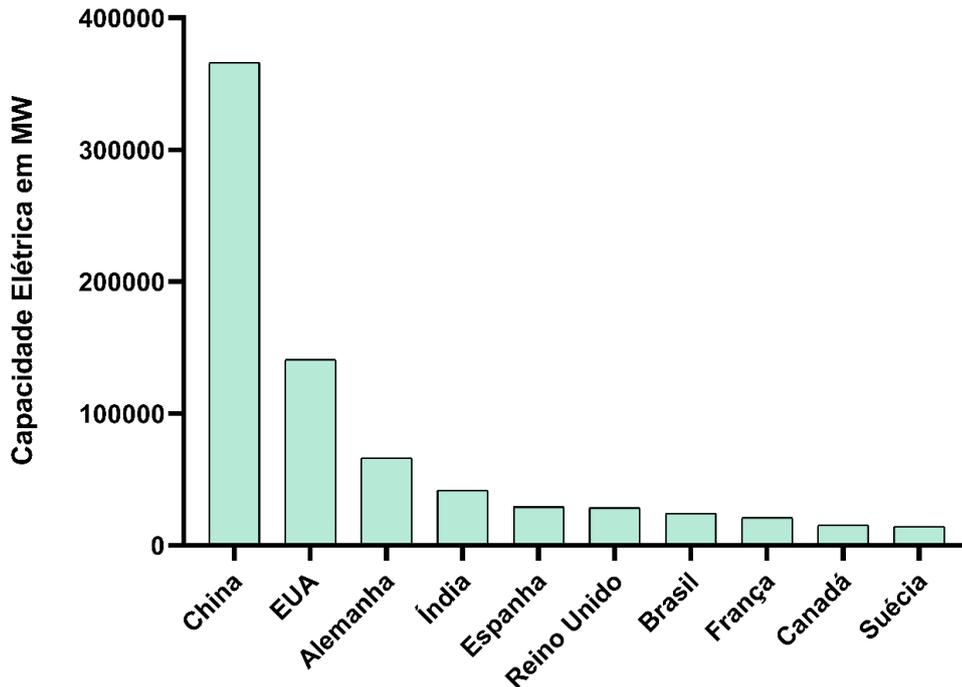
**Distância da Costa:** A distância da costa aumenta os desafios técnicos, logísticos e de acesso à rede elétrica para a transmissão da eletricidade gerada (DEPARTMENT OF ENERGY, 2022).

### 1.3.3.4. Maiores Produtores

Diversos países têm investido significativamente em projetos eólicos, visando aproveitar o potencial desse recurso renovável abundante. Como resultado, alguns países se destacam como líderes na produção de energia eólica, contribuindo para o crescimento global dessa indústria em rápida expansão.

Ao examinar os países - no Gráfico 8 - que mais produzem energia eólica, é possível observar as nações que estão adotando medidas para expandir sua capacidade de geração eólica. Tais países têm implementado políticas e regulamentações favoráveis, incentivando o investimento em projetos eólicos e criando um ambiente propício para o desenvolvimento dessa fonte de energia limpa.

Gráfico 8: Países que mais Produzem Energia através do Vento



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

A China desempenha um papel crucial na expansão da energia eólica. O país se tornou o líder global na produção de energia eólica, tanto *offshore*, com aproximadamente 335 GW, como *onshore*, com aproximadamente 30 GW (IRENA, 2022).

A energia eólica *offshore* também está ganhando destaque. Países com acesso a grandes áreas costeiras estão aproveitando o potencial dessa modalidade, que, geralmente, oferece velocidades de vento mais altas e maior estabilidade em comparação com a energia eólica terrestre. Além do Reino Unido, Alemanha e China, outros países, como os Países Baixos e os Estados Unidos, estão investindo significativamente na energia eólica *offshore*. Essa expansão futura também pode ser uma oportunidade para o Brasil, que possui uma vasta área costeira, adotar essa tecnologia (IRENA, 2023; LUCENA, 2021).

#### 1.3.4. Bioenergia

De antemão, torna-se necessário fazer a explicação de que “bioenergia” e “biomassa” não são sinônimos. Biomassa se refere à matéria orgânica de origem biológica

que pode ser utilizada como fonte de energia. Já a bioenergia é o termo utilizado para descrever a energia obtida a partir da conversão da biomassa. A bioenergia envolve o uso de processos e tecnologias para transformar a biomassa em formas de energia utilizáveis, como eletricidade, calor, biocombustíveis líquidos (como o etanol) e biogás (IEA BIOENERGY, 2020; GUO, SONG, BUHAIN, 2015).

Com base na biomassa, são feitos diversos subprodutos, como óleos vegetais e biocombustíveis. Os recursos de biomassa que estão disponíveis de forma renovável e são usados diretamente como combustível ou convertidos em outra forma ou produto energético são comumente referidos como “matérias-primas”, as quais incluem culturas energéticas dedicadas, resíduos de culturas agrícolas, resíduos florestais, algas, resíduos de processamento de madeira, resíduos urbanos (EIA, 2022).

Com reservas florestais abundantes para a produção deste tipo de energia, o Brasil é referência no setor. Devido ao avanço tecnológico, o Brasil viu seu mercado crescer consideravelmente, com técnicas específicas para a sua cadeia produtiva, implantação, manejo e exploração. Em 2022, foi produzido cerca de 150,67 GW através da biomassa (IRENA, 2023; IGNACIO, SANTOS, DUARTE, 2019).

O desenvolvimento das cadeias de energia baseadas em biomassa pode proporcionar um aumento substancial na oferta de energia renovável, por meio de diversas formas de energia, como biogás, biometano e lenha para geração elétrica. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

#### **1.3.4.1. Modalidades de Geração**

Na busca por fontes de energia renovável, a biomassa desempenha um papel fundamental, oferecendo diversas modalidades de geração. Por meio da conversão da biomassa, é possível obter diferentes formas de energia, cada uma com suas características e aplicações específicas. Nesse contexto, destacam-se as modalidades de geração de biocombustíveis líquidos, biocombustíveis sólidos, biogás e resíduos renováveis, como os bioplásticos. Cada uma dessas modalidades apresenta particularidades em relação à matéria-prima utilizada, ao processo de conversão e às aplicações finais (IEA, 2022).

- **Biocombustíveis Sólidos**

São derivados da biomassa em forma de sólidos, como a lenha e carvão vegetal. (IEA, 2022).

- **Biogás**

É produzido através da decomposição anaeróbica de matéria orgânica, como resíduos agrícolas, dejetos animais e resíduos sólidos urbanos (WEILAND, 2010).

- **Resíduos Renováveis**

Essa modalidade engloba a utilização de resíduos orgânicos e subprodutos da biomassa para a produção de energia ou materiais renováveis (ZHANG, HUANG, XU *et al.*, 2015).

- **Biocombustíveis Líquidos**

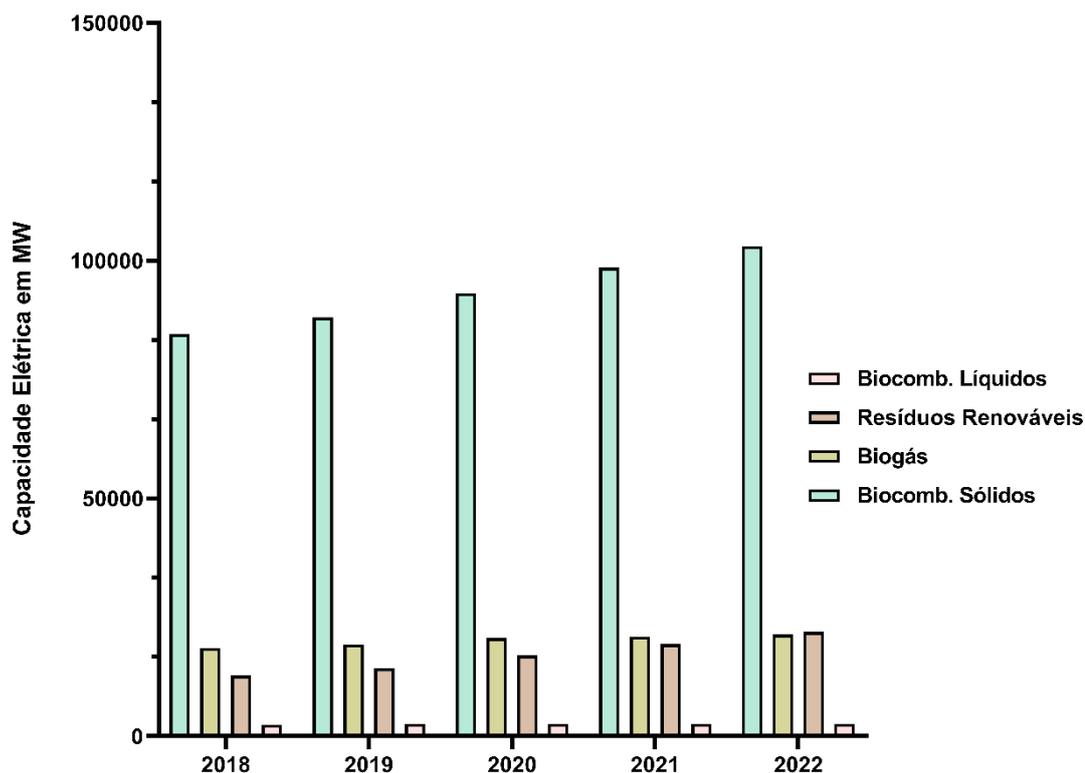
São biocombustíveis, como o etanol e o biodiesel, que são produzidos a partir de biomassa (NIGAM, SINGH, 2011).

#### **1.3.4.2. Avanços na Capacidade de Produção**

Nos últimos anos, houve avanços significativos na capacidade de produção de diversas modalidades de bioenergia. Esses avanços têm contribuído para a diversificação da matriz energética e para a promoção de práticas energéticas sustentáveis. Este subtópico irá explorar os avanços na capacidade de produção dessas modalidades de bioenergia nos últimos 5 anos, através do Gráfico 9 (IRENA, 2023).

No ano de 2018, a capacidade mundial de produção de biomassa foi de 119,25 GW; em 2022, a capacidade mundial foi 150,67 GW, ou seja, um aumento de 26,35% na capacidade global (IRENA, 2023). Tal crescimento mundial da biomassa é demonstrado no Gráfico 9.

Gráfico 9: Crescimento da Biomassa nos Últimos 5 anos



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

O Gráfico 9 mostra a evolução da produção de bioenergia nos últimos cinco anos, abrangendo biocombustíveis líquidos, biocombustíveis sólidos, biogás e resíduos. Os dados mostram um crescimento significativo, impulsionado pelo desenvolvimento tecnológico e pela disponibilidade de matérias-primas adequadas (IRENA, 2022).

Os biocombustíveis líquidos têm demonstrado um aumento constante, reduzindo emissões e diminuindo a dependência de combustíveis fósseis. Os biocombustíveis sólidos, como *pellets* e briquetes, também têm aumentado, oferecendo uma alternativa de energia sustentável. Além disso, a utilização de resíduos como fonte de energia tem contribuído para a redução do acúmulo de resíduos e mitigação de impactos ambientais. Em resumo, a produção de bioenergia tem evoluído nos últimos cinco anos, impulsionando a transição para uma matriz mundial energética mais limpa e sustentável (IRENA, 2022).

#### 1.3.4.3. Desafios do Setor

A expansão da produção de energia biomassa enfrenta desafios que podem variar

de acordo com o contexto de cada país. Tais desafios são:

**Disponibilidade e Sustentabilidade:** A biomassa utilizada para a produção de energia deve ser proveniente de fontes sustentáveis, ou seja, a demanda por biomassa não pode comprometer a disponibilidade de recursos para outros usos. (IRENA, 2023; IEA, 2022; BABIN, VANEECKHAUTE, ILIUTA, 2021).

**Logística e Infraestrutura:** Dependendo do tipo de biomassa e da distância entre as áreas de produção e as instalações de conversão de energia, podem ser necessários investimentos significativos em infraestrutura de transporte e armazenamento (IRENA, 2023; IEA, 2022; BABIN, VANEECKHAUTE, ILIUTA, 2021).

**Custo de Produção:** A produção de energia biomassa enfrenta desafios relacionados aos custos, como investimento em instalações, a aquisição e processamento da biomassa, e a necessidade de tecnologias avançadas (IRENA, 2023; IEA, 2022; BABIN, VANEECKHAUTE, ILIUTA, 2021).

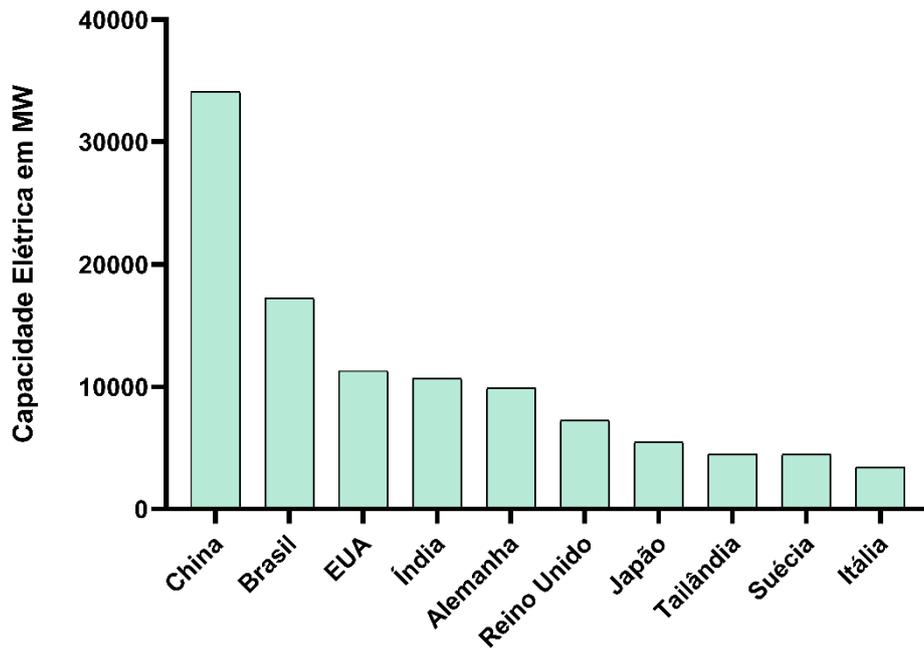
**Concorrências com Outros Usos:** A biomassa também é utilizada em outras indústrias, como a produção de alimentos, produtos químicos e materiais. A competição por recursos cria desafios na expansão da produção de energia biomassa (IRENA, 2023; IEA, 2022; BABIN, VANEECKHAUTE, ILIUTA, 2021).

#### **1.3.4.4. Maiores Produtores**

A produção de biomassa desempenha um papel crucial na transição global para fontes de energia mais sustentáveis e renováveis. Países como China e Brasil tornaram-se eminentes como líderes nessa área, impulsionando a geração de bioenergia e contribuindo para a redução das emissões de GEE.

É apresentado, no Gráfico 10, os países que mais produziram biomassa em 2023. O gráfico fornece uma comparativa dos países que se destacam na produção de biomassa, destacando a magnitude de sua contribuição para a matriz energética global (IRENA, 2023; IEA, 2022).

Gráfico 10: Maiores produtores de Bioenergia



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

A produção de energia a partir da biomassa tem evoluído ao longo dos anos devido a uma série de fatores, incluindo avanços tecnológicos, políticas energéticas, preocupações ambientais e a disponibilidade de recursos. A disponibilidade de recursos naturais, como resíduos agrícolas e resíduos florestais, desempenham um papel crucial na produção biomassa (IRENA, 2023; IEA, 2022).

A Tailândia não figura em posição de destaque em nenhum outro *ranking* de energia renovável. Atualmente, o país conta com, aproximadamente, 4,5 GW de geração. A bioenergia é a principal renovável deste país, o qual adota políticas e estratégias voltadas para o desenvolvimento da bioenergia para diversificar sua matriz energética, reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as emissões de GEE (IEA, 2019; IRENA, 2017).

### 1.3.5. Oceânica

É importante esclarecer que os termos “energia oceânica” e “energia marítima” não são sinônimos. A energia oceânica abrange todas as formas de energia obtidas dos oceanos, como a energia das ondas, marés, térmica e correntes marítimas, que podem ser

convertidas em eletricidade. Por outro lado, o termo 'energia marítima' é mais abrangente e engloba não apenas a energia proveniente dos oceanos, mas também todas as formas de energia relacionadas às atividades marítimas, incluindo a energia eólica *offshore* (CARBON, 2006).

A energia oceânica é derivada de tecnologias que aproveitam a energia cinética e térmica da água do mar, bem como as ondas e as correntes. Embora os sistemas de energia oceânica ainda estejam em um estágio inicial de desenvolvimento, há protótipos de aproveitamento de ondas e correntes de maré sendo testados. O potencial teórico para a energia oceânica supera amplamente as atuais necessidades energéticas da humanidade, oferecendo uma fonte promissora de energia (IRENA, 2021; EMEC, 2015).

#### **1.3.5.1. Modalidades de Geração**

Embora ainda em fase de pesquisa e desenvolvimento e ainda não disponíveis comercialmente, as tecnologias oceânicas promissoras incluem:

- **Energia das Ondas**

O movimento resultante da água transporta energia cinética, que pode ser aproveitada por dispositivos. Tais dispositivos captam a energia contida nas ondas do mar e a utilizam para gerar eletricidade (IRENA, 2021; EMEC, 2015).

- **Energia das Marés**

As tecnologias de corrente de maré capturam a energia cinética das correntes que entram e saem das áreas de maré. Como as posições relativas do sol e da lua podem ser previstas com total precisão, a maré resultante também pode. É essa previsibilidade que torna a energia das marés um recurso tão valioso (IRENA, 2021; EMEC, 2015).

- **Energia do Gradiente de Salinidade**

É decorrente de diferentes concentrações de sal, como ocorre no local em que um rio deságua no oceano. Projetos de demonstração usam "osmose retardada por pressão", com água doce fluindo através de uma membrana para aumentar a pressão em um tanque de água salgada; e "eletrodíálise reversa", com íons de sal passando por tanques alternados de água doce e salgada (IRENA, 2021; EMEC, 2015).

- **Conversão de Energia Térmica Oceânica**

Gera energia a partir da diferença de temperatura entre a água do mar quente na superfície e a água do mar fria a 800–1.000 m de profundidade (IRENA, 2021; EMEC, 2015).

### **1.3.5.2. Avanços na Capacidade de Geração**

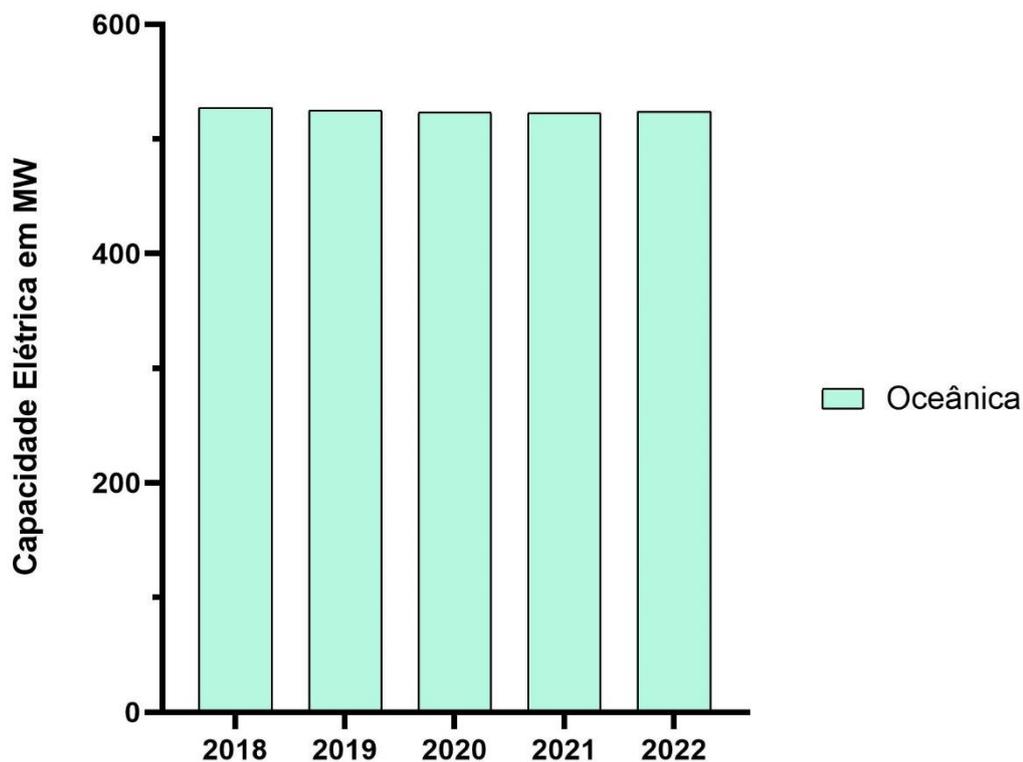
No ano de 2018, a capacidade mundial de produção de energia através da fonte oceânica era de 0,53 GW; em 2022, a capacidade foi de 0,523 GW, ou seja, houve uma queda de -1,32 % na capacidade global (IRENA, 2021).

Embora a energia oceânica não seja um dos maiores produtores de energia renovável, ela conta com um imenso potencial energético, estimado em 32 PWh/ano (pico-watt-hora por ano) (ISLAM, HASANUZZAMAN, 2020).

Apesar de todos os países costeiros terem acesso privilegiado a essa fonte abundante, a utilização atual em escala global ainda representa apenas uma fração pequena desse potencial, evidenciando um amplo espaço para inovação e aprimoramento tecnológico (ISLAM, HASANUZZAMAN, 2020).

O Gráfico 11 demonstra a capacidade de produção nos últimos 5 anos da energia oceânica.

Gráfico 11: Evolução da Energia Oceânica nos Últimos 5 anos



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

A falta de crescimento significativo na capacidade de geração de energia oceânica é atribuída a diversos desafios e obstáculos que a indústria enfrenta, tais como imaturidade tecnológica, custo elevado, investimentos concentrados em outras fontes e condições ambientais complexas.

### 1.3.5.3. Desafios do Setor

Os desafios que a indústria oceânica precisa superar para crescer em longo prazo são:

**Imaturidade Tecnológica:** As tecnologias para a extração da energia estão em estágio inicial, e muitos projetos são protótipos. A falta de maturidade tecnológica dificulta a implementação em larga escala e a maximização da eficiência (HUSSAINA, ARIF, ASLAM, 2017; IRENA, 2020; IRENA, OEE, 2023).

**Custo Elevado:** A construção e manutenção de infraestruturas para a geração de energia oceânica tem custo elevado, representando um desafio financeiro oneroso.

(IRENA, OEE, 2023; REN 21, 2023).

**Condições Ambientais Complexas:** Devido às características únicas dos ambientes oceânicos e aos possíveis impactos ambientais, a energia oceânica enfrenta regulamentações e processos de licenciamento rigorosos (IRENA, OEE, 2023; REN 21, 2023).

**Impacto Ambiental e Social:** A implementação de projetos de energia oceânica pode ter potenciais impactos negativos no meio ambiente marinho, incluindo a alteração dos padrões de movimento das correntes e interferência na vida marinha. (REN 21, 2023; PELC, FUJIA, 2002).

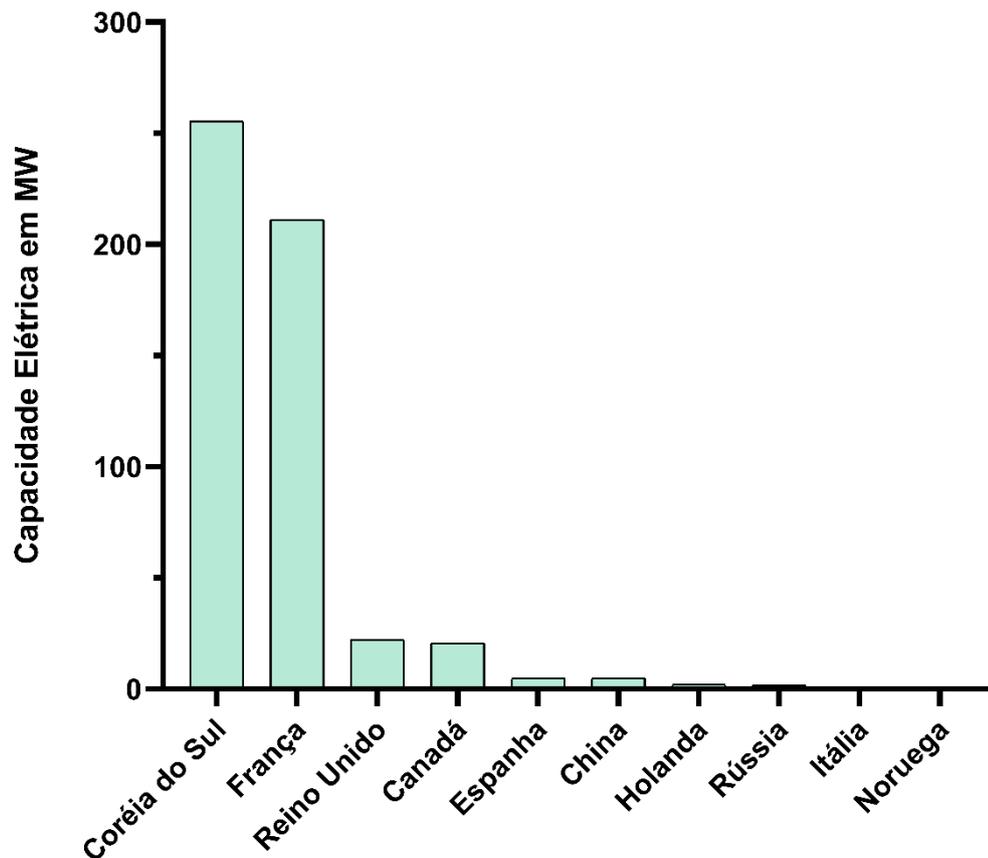
**Concorrência com outras renováveis:** A energia oceânica também enfrenta concorrência de outras fontes de energia renovável mais estabelecidas, como a solar e eólica (REN 21, 2023).

Diante desses desafios, são necessárias ações e investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento para superar as barreiras tecnológicas, financeiras. O estabelecimento de regulamentações é necessário visando promover a energia oceânica.

#### **1.3.5.4. Maiores Produtores**

A energia oceânica tem despertado um crescente interesse global como uma alternativa promissora às fontes convencionais de energia (IRENA, OEE, 2023). Os países que se destacam como líderes na produção estão no Gráfico 12, o qual explora os 10 países que mais possuem capacidade de produção de energia oceânica.

Gráfico 12: Top 10 Países com Maior Capacidade de Produção de Energia Oceânica Acumulada



Fonte: [IRENA](#) – adaptado pelo autor.

Liderando a lista, a Coreia do Sul possui uma capacidade de produção de energia oceânica de 256 MW. O país destacou-se no desenvolvimento de tecnologias para energia das marés e correntes, com investimentos significativos em pesquisa e desenvolvimento nessa área (KIOST 2019).

A França possui uma capacidade de produção de energia oceânica de 211 MW. O país tem investido em projetos relacionados à energia das ondas e marés, explorando seu potencial energético marinho ao longo das costas atlântica e mediterrânea (FRANCE ENERGIES MARINES, 2023).

A energia oceânica, embora esteja em estágios iniciais de desenvolvimento, emerge como uma fonte renovável promissora e de enorme potencial (IRENA, 2023). Sua evolução é lenta em comparação com as outras fontes de energia renovável estabelecidas no mercado (IRENA, 2023). No entanto, estudos da *International*

*Renewable Energy Agency* indicam que o potencial energético dos oceanos supera significativamente as capacidades atuais de outras fontes renováveis (IRENA, 2023). O vasto poder das ondas, correntes marítimas, marés e diferenças de temperatura nos oceanos apresentam uma promissora oportunidade para a geração sustentável de eletricidade (IRENA, 2023).

### **1.3.6. Geotérmica**

A energia geotérmica é a forma de energia resultante do calor contido no interior da Terra. É obtida através do uso de fontes de calor geotérmicas, como gêiseres, fontes termais e vapores subterrâneos (IRENA, 2020). A origem da energia geotérmica está relacionada à estrutura interna do nosso planeta (IRENA, 2020).

Embora esse calor esteja presente em quantidades enormes e praticamente inesgotáveis na crosta terrestre, ele está distribuído de maneira desigual e frequentemente localizado em profundidades que dificultam sua exploração industrial (IRENA, 2020; BARBIER, 2002).

O uso da energia geotérmica está presente em civilizações antigas, tais como a dos romanos, que utilizavam as águas termais para aquecimento e banhos públicos. No entanto, o atual uso da energia geotérmica para geração de eletricidade começou no início do século XX, com a construção da primeira usina geotérmica em Larderello, na Itália, em 1904 (EERE, 2022).

Para gerar eletricidade, são necessários recursos de temperatura média ou alta. Estes estão localizados perto de regiões tectonicamente ativas onde a água quente e/ou vapor são transportados para a superfície da Terra (IRENA, 2020).

#### **1.3.6.1. Modalidades de Geração**

A utilização da energia geotérmica muda significativamente de acordo com a temperatura do recurso disponível. As temperaturas são geralmente classificadas em três faixas distintas: alta (acima de 150°C), média (90-150°C) e baixa (abaixo de 90°C) (IGA, 2018; IEA, 2010).

A produção de eletricidade é mais viável quando se tem acesso a recursos geotérmicos com temperaturas médias a altas. Para a geração de eletricidade em larga

escala, é necessária uma temperatura mínima do recurso em torno de 150-180°C. No entanto, tecnologias existentes permitem a produção de eletricidade a partir 70°C, embora em aplicações de menor escala (IGA, 2018; IEA, 2010).

Os tipos de produção de energia geotérmica focados na geração de eletricidade são os seguintes:

- **Ciclo de Vapor Flash**

A água quente sob alta pressão é extraída do reservatório geotérmico e passa por uma válvula de redução de pressão, o que provoca a vaporização instantânea de parte da água. O vapor gerado aciona uma turbina conectada a um gerador, produzindo eletricidade. O vapor exaurido é, então, condensado e reinjetado no reservatório (IRENA, IGA, 2023; IEA, 2010).

- **Ciclo Binário**

Os fluidos de trabalho de baixa ebulição, como fluidos orgânicos, são utilizados para capturar o calor do reservatório geotérmico. O fluido de trabalho evapora a uma temperatura mais baixa do que a água, o que permite a utilização de temperaturas geotérmicas mais baixas para a geração de eletricidade. O vapor do fluido de trabalho aciona uma turbina conectada a um gerador (IRENA, IGA, 2023; IEA, 2010).

- **Ciclo de Água Quente**

Em áreas onde a temperatura geotérmica é relativamente baixa ou o vapor não está disponível em quantidade suficiente, a água quente é extraída do reservatório e utilizada diretamente para acionar turbinas e geradores (IRENA, IGA, 2023; IEA, 2010).

A maioria das usinas geotérmicas atualmente em funcionamento para a geração de eletricidade consiste em plantas de vapor seco ou *flash*, os quais se utilizam de recursos geotérmicos com temperaturas acima de 150°C (IRENA, IGA, 2023; IEA, 2010).

### **1.3.6.2. Avanços na Capacidade de Geração**

A energia geotérmica tem ganhado reconhecimento como uma fonte promissora de energia renovável. Esforços consideráveis estão sendo direcionados ao desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias de geração de energia geotérmica, impulsionando significativamente sua capacidade de produção. Com isso, a energia

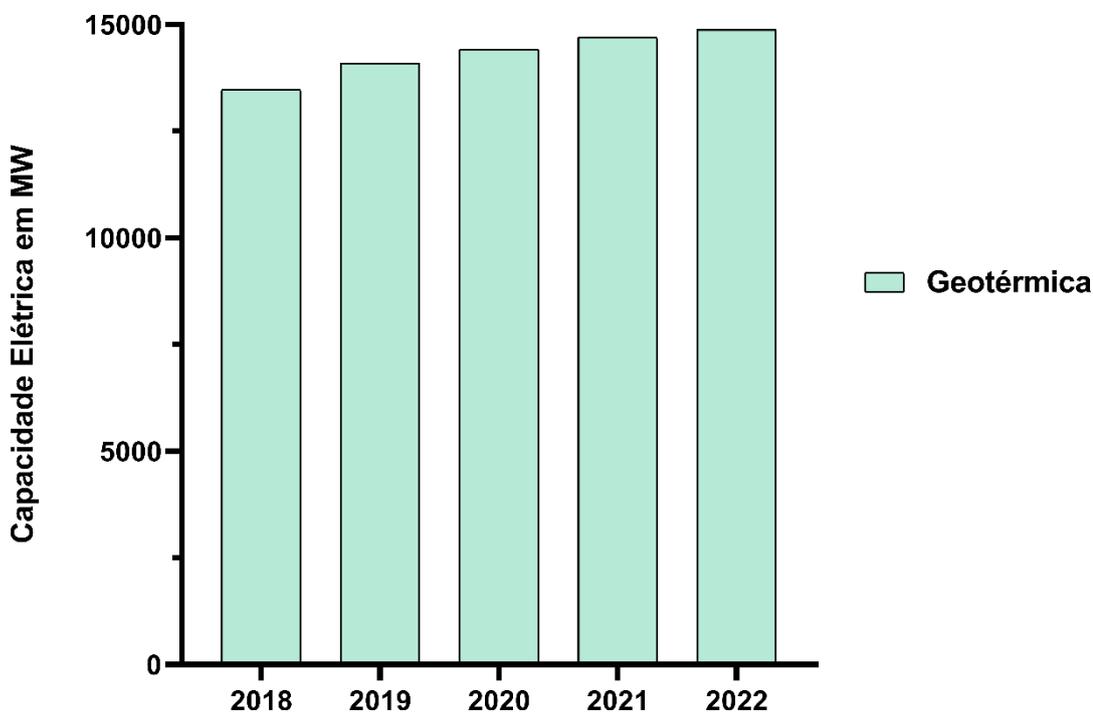
geotérmica está se tornando cada vez mais viável e competitiva no contexto energético global (IRENA, 2020, 2022).

Nesta seção, serão analisados os avanços recentes na capacidade de geração de energia geotérmica, com destaque para os progressos alcançados nos últimos cinco anos, de acordo com dados da Agência Internacional de Energias Renováveis (IRENA, 2020, 2022).

Em 2018, a produção mundial de energia geotérmica foi de 13,2 GW. No entanto, em 2022, a capacidade de produção global aumentou para 14,62 GW, representando um crescimento de 10,75% em relação a 2018 (IRENA, 2020, 2022).

Para ilustrar visualmente o crescimento mencionado, será apresentado o Gráfico 13, que representa o aumento da capacidade de geração de energia geotérmica ao longo do período considerado. Tais avanços na capacidade de geração de energia geotérmica refletem tanto o aumento do investimento quanto a melhoria das tecnologias e práticas de exploração.

**Gráfico 13:** Crescimento da Energia Geotérmica nos Últimos 5 anos



Fonte: [IRENA](#) - adaptado pelo autor.

A capacidade de geração de energia geotérmica experimenta um crescimento relevante. Esse aumento é impulsionado por alguns fatores, como avanços tecnológicos no campo da exploração e aproveitamento do calor geotérmico, políticas governamentais favoráveis e o crescente reconhecimento dos benefícios ambientais e socioeconômicos da energia geotérmica (IRENA, IGA, 2023).

Considerando tais avanços e benefícios, a energia geotérmica desempenha um papel socioeconômico na transição para uma matriz energética mais sustentável (IRENA, IGA, 2023). Futuros investimentos impulsionarão a capacidade de geração de energia geotérmica e permitirão um papel mais significativo na matriz energética global (IRENA, IGA, 2023).

### **1.3.6.3. Desafios do Setor**

Além do alto custo para a exploração de tal fonte e a lenta evolução na capacidade, outros desafios do setor consistem em:

**Restrições Geográficas:** A disponibilidade de recursos geotérmicos adequados está concentrada em regiões geográficas específicas. Nem todos os países possuem reservas, o que limita o seu desenvolvimento (LUND, BOYD, 2016).

**Barreiras Técnicas:** A exploração e desenvolvimento exigem conhecimentos especializados e tecnologias avançadas. A perfuração de poços profundos e o manejo dos fluidos geotérmicos são desafios técnicos, o que limita a expansão da capacidade de produção (TESTER, ANDERSON, BATCHELOR *et al.*, 2007).

**Competição com Outras Fontes:** A geotérmica enfrenta competição de outras fontes de energia renovável, como a energia solar e a energia eólica, que tiveram um rápido crescimento (IRENA, IGA, 2023).

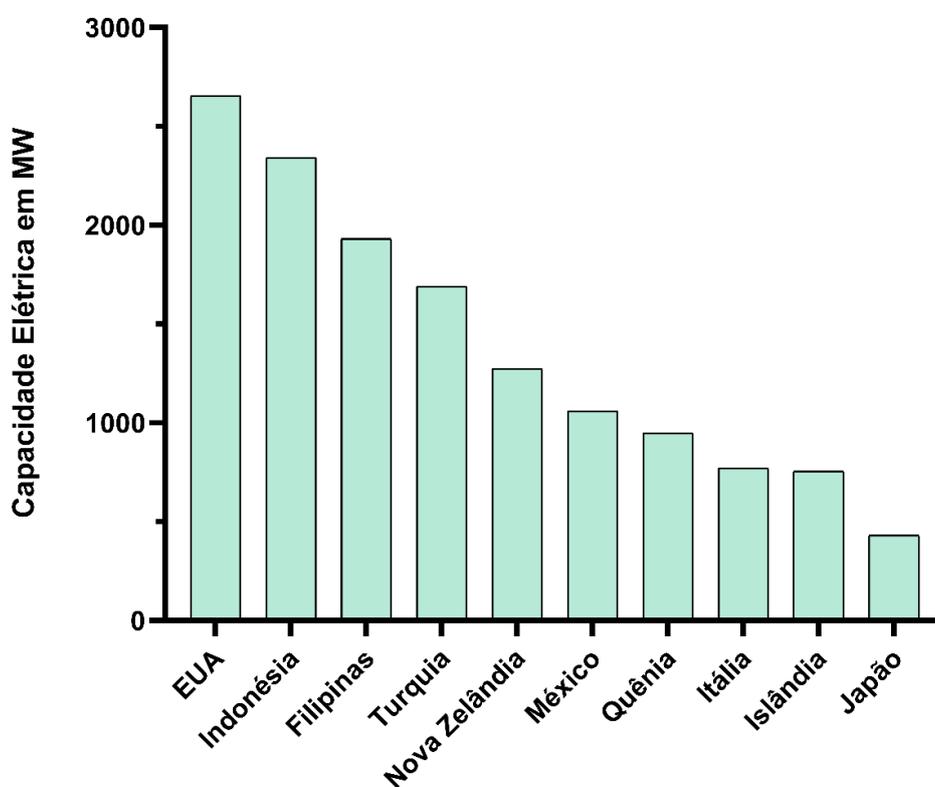
### **1.3.6.4. Maiores Produtores**

A energia geotérmica tem sido explorada e desenvolvida em diversos países ao redor do mundo, e alguns, como os Estados Unidos e Indonésia, destacam-se como os principais produtores dessa fonte. Esses países em evidência possuem uma capacidade significativa de produção geotérmica, impulsionando não apenas a diversificação da

matriz energética, mas também o desenvolvimento sustentável e a redução das emissões de GEE (IRENA, IGA, 2023).

Entre os 10 países que se destacam como maiores produtores, conforme mostrado no gráfico 14, os Estados Unidos, a Indonésia, as Filipinas, a Turquia, a Nova Zelândia, o México, o Quênia, a Itália, a Islândia e o Japão apresentam condições geológicas favoráveis e investimentos significativos em tecnologias e infraestrutura geotérmica (IRENA, IGA, 2023).

Gráfico 14: Os Países que mais Produzem Energia Geotérmica



Fonte: [IRENA](#) - adaptado pelo autor.

A Indonésia, Filipinas, Quênia e Islândia são exemplos de nações que estão investido em energia geotérmica, impelindo não apenas o seu próprio desenvolvimento sustentável, mas também contribuindo para o avanço da utilização dessa fonte renovável em âmbito global (IEA, 2023).

A Indonésia investe em energia geotérmica devido à sua vasta quantidade de

recursos disponíveis. O país está localizado no chamado "Anel de Fogo do Pacífico", uma região geologicamente ativa com atividade vulcânica intensa. Essa atividade vulcânica cria um ambiente propício para a existência de reservatórios geotérmicos (IEA, 2023); e estima-se que 40% das reservas globais estejam em seu solo (SETIAWAN, 2014).

Outro país que está no "Anel de Fogo do Pacífico" e que está presente na lista são as Filipinas. As Filipinas possuem abundância de recursos geotérmicos, e tais recursos utilizados estrategicamente vão auxiliar o país na redução da dependência de combustíveis fósseis e na estabilidade do suprimento de energia (DOE, 2015).

## **2. Planos Energéticos em Perspectiva: Abordagens Estratégicas e Desafios no Brasil, Estados Unidos e União Europeia**

Em resposta aos desafios climáticos que o planeta Terra está vivenciando, os países estão aprimorando os seus planos energéticos estratégicos, buscando direcionar as suas economias em um caminho de descarbonização e redução das emissões de GEE. Este capítulo propõe uma análise dos planos energéticos (PE) adotados pelo Brasil, Estados Unidos e União Europeia, considerando as metas e desafios estabelecidos em direção ao alcance do objetivo do Net Zero 2050 e das metas estabelecidas no COP-21 (IEA, 2021; UNFCCC, 2015; UNFCC, 2023).

O conceito de Net Zero 2050 refere-se a um compromisso global de alcançar um equilíbrio entre as emissões GEE e as remoções desses da atmosfera até o ano de 2050. Essa abordagem implica a adoção de estratégias que permitam a redução das emissões, combinadas com ações de remoção de carbono, como reflorestamento e captura de carbono (IEA, 2021).

É importante mencionar a Conferência das Partes (COP-21) das Nações Unidas sobre Mudança do Clima, realizada em 2015, em Paris. Durante essa conferência, foi adotado o Acordo de Paris, um marco significativo na luta contra as mudanças climáticas. O Acordo estabelece metas para a redução das emissões de GEE e busca limitar o aumento da temperatura global em 2 °C em relação aos níveis pré-industriais (UNFCCC, 2015).

Ao comparar os planos energéticos do Brasil, Estados Unidos e União Europeia, é possível analisar as estratégias adotadas por essas regiões em consonância com as metas estabelecidas do Net Zero e os compromissos da COP-21. Tal comparação permitirá a análise das políticas e ações que são realizadas visando a enfrentar os desafios da transição energética sustentável.

### **2.1. A Energia Renovável e os Planos Energéticos**

Aqui, serão analisados os planos energéticos do Brasil, dos Estados Unidos e da União Europeia. Um Plano Energético é um documento estratégico elaborado por

governos, instituições ou empresas com o objetivo de definir uma abordagem sustentável para o desenvolvimento e gerenciamento do setor energético. Essa abordagem objetiva atender às necessidades crescentes de energia da sociedade, garantindo a segurança energética, a eficiência, a sustentabilidade ambiental e a equidade social (BHATIA, 2014).

## **2.2. Plano Energético Brasileiro**

Os países estão buscando caminhos para suprir a crescente demanda de energia a qual o atual cenário tecnológico necessita. Além de uma expansão energética, o Brasil faz parte de acordos anteriormente mencionados (IEA, 2021; WRI BRASIL, 2021).

Antes de 2007, o Brasil não tinha um PE definido, que buscasse o crescimento das fontes renováveis e o avanço tecnológico em sua matriz elétrica. Com o intuito de expandir a porcentagem de fontes de energias renováveis na matriz brasileira, o poder público, com sua expertise em 2007 e com apoio do Ministério de Minas e Energia (MME) e da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao MME, projetou o Plano Nacional de Energia 2030 (EPE, 2007; EPE, 2020).

O Governo Federal Brasileiro, pela primeira vez, desenvolveu um estudo de um plano nacional de energia (PNE) (EPE, 2007; EPE, 2020). O Plano permite identificar as fontes energéticas mais adequadas em termos tanto tecnológicos, econômicos, sociais e ambientais buscando atender às atuais e futuras demandas do país, atingindo, também, as metas ambientais propostas nos acordos internacionais (EPE, 2007; EPE, 2020).

A utilização do PNE é uma ferramenta que tenciona evitar a degradação prematura dos recursos energéticos e/ou apontar alternativas de substituição de fontes de energia, garantindo a oferta necessária à manutenção do desenvolvimento da sociedade (EPE, 2007). Tal elevado grau de utilidade tornou o planejamento energético uma ferramenta útil para auxiliar não apenas as tomadas de decisão, mas também a elaboração de políticas energéticas sustentáveis (DIXON, MCGOWAN, ONYSKO, 2010; WRI BRASIL, 2021; FOUQUET, 2013).

Com o advento da pandemia da covid-19 e com a possível falta de recursos energéticos para suprir o crescimento tecnológico brasileiro, o Governo Federal brasileiro

passou a se preocupar em criar estratégias para a implantação de energias renováveis e para a redução dos gases GEE. Além dessa empenho nacional, o Brasil precisará atingir, em 2030, de 45 a 50% de fontes de energias renováveis em sua matriz energética, devido aos acordos internacionais dos quais faz parte (IEA, 2021; ONU BRAZIL, 2021).

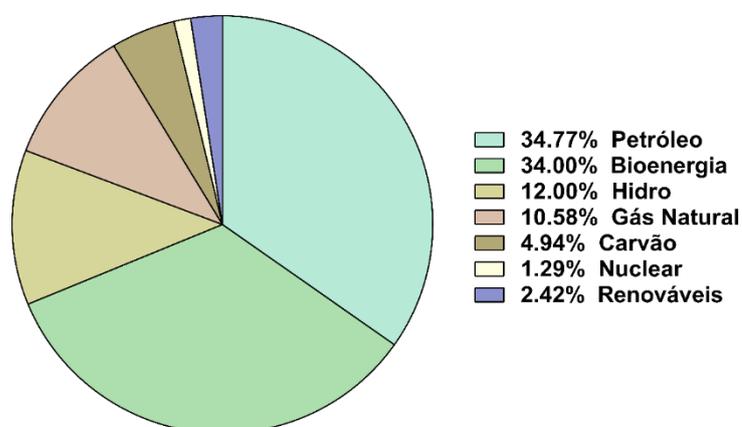
Em 2020, o MME inaugurou o PNE 2050. Através de estudos e análises, o MME entendeu que o ano de 2030 não seria mais viável, pois suas metas não promoveriam a utilização e o aumento do uso de fontes de energias renováveis, mas sim a utilização majoritária de fontes não renováveis (EPE, 2020).

O projeto 2050 é um plano com diversas recomendações e diretrizes a serem seguidas ao longo do futuro energético brasileiro, tendo como um dos objetivos a mudança de posição de importador líquido de energia para ofertante líquido, ou seja, ter uma produção capaz de suprir as necessidades energéticas do país e exportar o restante da produção.

O PNE 2050 se baseia em quatro objetivos: segurança energética, retorno dos investimentos, disponibilidade energética para a população e critérios socioambientais; tendo, também, como meta maximizar e acelerar a transição energética brasileira (EPE, 2020).

A expansão ocorrerá de maneira sustentável, tendo o foco na expansão da energia eólica *onshore* e solar fotovoltaica. Como pode ser visto no Gráfico 15, a atual matriz energética brasileira ainda é composta por grande parte de fontes não renováveis.

**Gráfico 15:** Matriz Energética Brasileira (2022)



Fonte: [Empresa de Pesquisa Energética – EPE](#), adaptado pelo autor.

A expansão renovável do setor energético brasileiro poderá ocorrer de duas formas diferentes, dependendo do período que o país estiver percorrendo. As duas faces do desenvolvimento foram denominadas pelo MME como “cone das incertezas”, que apresenta o lado de maior crescimento (desafio da expansão) e o lado de menor crescimento (cenário da estagnação) (EPE, 2020).

O desafio da expansão é o cenário que busca expandir a infraestrutura e a oferta de energia, objetivando atender a um crescimento de uma maior demanda energética no Brasil (EPE, 2020).

O cenário da estagnação está presente em um crescimento nacional desacelerado. Tal cenário poderá ocorrer por motivos de problemas financeiros, crises climáticas, de saúde ou guerras (EPE, 2020).

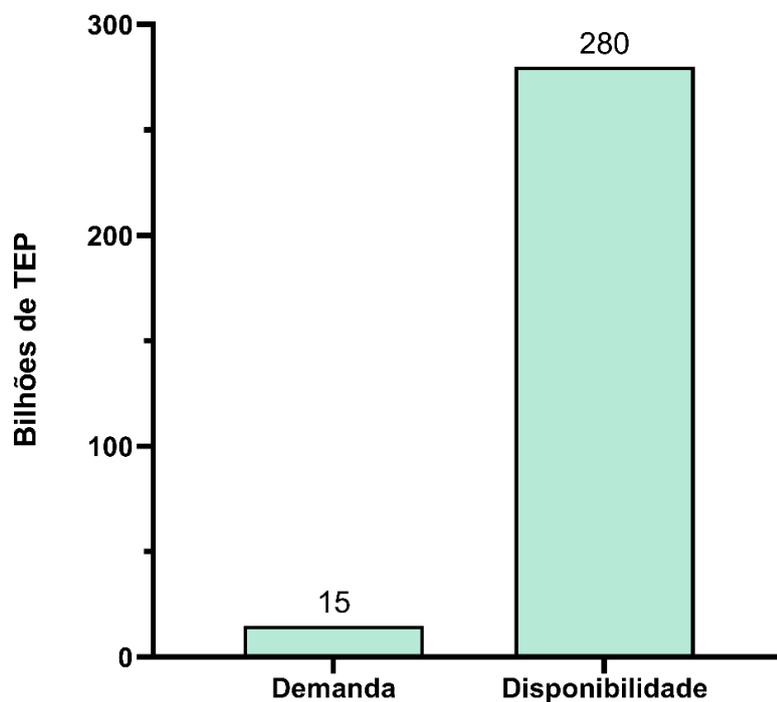
O PNE 2050 acredita que uma produção mais viável e sustentável passa por mudanças, buscando eventos raros, catástrofes; sendo este, portanto, apto a se adequar e a contribuir para as soluções mais rápidas e sistemáticas que forem necessárias (EPE, 2020).

### **2.2.1. Projeção da Produção de Energia até 2050**

A história do setor energético brasileiro mostra que o país sempre foi um demandante líquido, ou seja, importava energia para suprir a sua demanda do setor elétrico. Com o projeto 2050, passará de demandante para ofertante energético. Essa nova oferta ocorrerá por meio da utilização em massa das fontes renováveis (EPE, 2020).

O PNE 2050 buscará alcançar a administração da abundância, ou seja, utilizará estratégias para gerenciar a abundância dos novos recursos energéticos que o país começará a ter, pois a disponibilidade total de recursos para se produzir energia superará a demanda de energia necessária total até o ano de 2050. O Brasil possui capacidade de produzir uma quantidade maior de energia através de fontes limpas do que, efetivamente, consome e consumirá. Tal diferença de produção é mostrada no Gráfico 16.

**Gráfico 16:** Potencial de recursos e demanda de energia no PNE 2050



Fonte: [PNE 2050](#) – adaptado pelo autor.

O Gráfico 16 mostra que, em 2050, a demanda energética do país será de 15 bilhões de TEP (toneladas equivalentes de petróleo). Utilizando apenas fontes não renováveis, o país terá uma disponibilidade de 21,5 bilhões de TEP, em 2050. Nos próximos 35 anos, anualmente, o Brasil receberá 7,4 bilhões de TEP provenientes de recursos renováveis, totalizando aproximadamente 259 bilhões de TEP em 2050. Somando o restante da produção não renovável e a produção renovável, o país contará com, aproximadamente, 280 bilhões de TEP, tornando-se, assim, exportador de energia para outros mercados.

A transição energética brasileira terá como base estes segmentos:

- A eletrificação através de fontes renováveis (EPE, 2020);
- A utilização maior dos biocombustíveis, tanto para automóveis e outros fins (EPE, 2020);
- A eficiência energética impulsionada pela digitalização e pela computação em nuvem, visando ao fim do desperdício e da utilização de papéis (EPE, 2020);

- O gás natural, que será um grande responsável por auxiliar na transição de uma matriz fóssil para uma matriz verde (EPE, 2020).

O motivo da contínua utilização do gás natural é que as fontes renováveis são fontes não despacháveis, ou seja, fontes que contam com um difícil controle na geração de energia, podendo apresentar problemas em períodos de escassez (EPE, 2020).

O gás natural será progressivamente substituído pelo biogás/biometano, viabilizando, dessa forma, maior segurança na introdução às fontes renováveis não despacháveis no setor elétrico (EPE, 2020).

### **2.2.2. Objetivos Gerais do PNE 2050**

- Produzir energia suficiente, através de fontes renováveis, para suprir toda a necessidade nacional e exportar o excedente, tendo prazo até 2050;
- Reduzir a emissão de GEE da sua matriz energética, para atingir os objetivos da COP-21 e NETZERO 2050;
- Atingir, até 2030, a porcentagem de 45-50% de fontes renováveis em sua matriz elétrica; e atingir 75% de renováveis até 2050;
- Utilizar o gás natural como fonte reserva durante a transição energética até 2050;
- Implementar em massa fontes solares, eólica e hídricas, buscando o seu máximo potencial até 2050;
- Implementar, de forma secundária, as fontes renováveis de menor potencial na matriz energética, auxiliando as demais. Tais fontes são: a eólica *offshore*, a solar concentrada (CSP), a biomassa, a nuclear, o hidrogênio e a oceânica.

Por meio destes objetivos, o país buscará a implementação de uma matriz elétrica cada vez mais diversificada, não tendo apenas uma fonte renovável despachável, mas diversas, além de ter, nos primeiros momentos de transição, o gás natural como solução para uma possível escassez (EPE, 2020).

### **2.2.3. Fontes Renováveis na Transição Energética Brasileira**

#### **2.2.3.1. Hidroelétricas**

Historicamente, as hidroelétricas são a principal fonte de geração do sistema elétrico brasileiro, representando, aproximadamente, 2/3 da capacidade instalada do atual parque gerador nacional. Tal fonte permitiu que o Brasil tivesse papel de destaque no

cenário internacional, uma vez que possui uma das matrizes com o maior nível de participação de energia renovável do mundo (EPE, 2020).

Para manter a elevada participação de fontes renováveis e as baixas emissões em longo prazo, o aproveitamento hidrelétrico ainda representa um elemento importante de ampliação de oferta de energia elétrica no sistema interligado nacional (EPE, 2020). Dentre estes, destacam-se as sinergias com outras fontes renováveis, a flexibilidade operativa e a capacidade de armazenamento de energia em seus reservatórios, a qual pode ser usada em qualquer hora do dia, durante certos períodos de ausência de ventos e/ou irradiação solar. Essa funcionalidade aumenta a confiabilidade do suprimento de energia durante a transição (EPE, 2020).

#### **2.2.3.1.1. Estimativas de Recursos**

Foi realizado um levantamento de dados juntamente com a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), estabelecendo o potencial hídrico no território brasileiro, que é de 176 GW (EPE, 2020). O potencial considera apenas as áreas disponíveis para construção e ampliação das usinas (EPE, 2020).

#### **2.2.3.1.2. Desafios Principais**

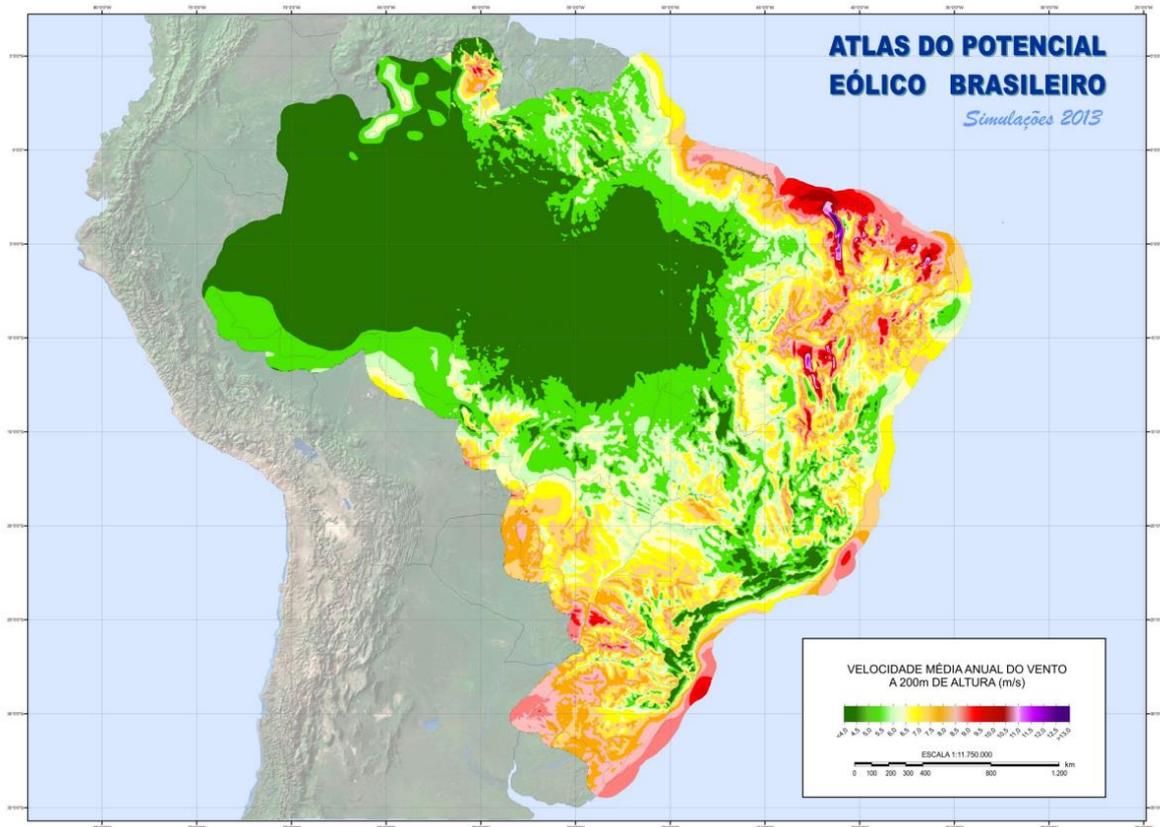
Devido à construção e implementação das hidroelétricas, é a fonte renovável que mais prejudica a fauna e flora do local. Portanto, busca-se implementar novas tecnologias, visando ampliar o potencial das usinas já existentes, atrasando, assim, a necessidade da construção de novas (EPE, 2020).

#### **2.2.3.2. Eólica**

A energia eólica é a segunda fonte renovável que mais cresce no mundo, ficando atrás - no aumento da capacidade - apenas da solar (IRENA, 2022). A capacidade mundial de produção em 2012 era de 261,95 GW, porém, no ano de 2022, a capacidade foi de 835,62 GW, mostrando um aumento de 219% (IRENA, 2022).

No Brasil, desde a contratação dos projetos eólicos no Leilão de Energia de Reserva de 2009, a fonte eólica passou a ganhar novos investimentos. O país possui excelente potencial desta fonte, como pode ser visto na Figura 1 (CEPEL, 2013).

**Figura 1:** Velocidade Média Anual do Vento a 200m de altura

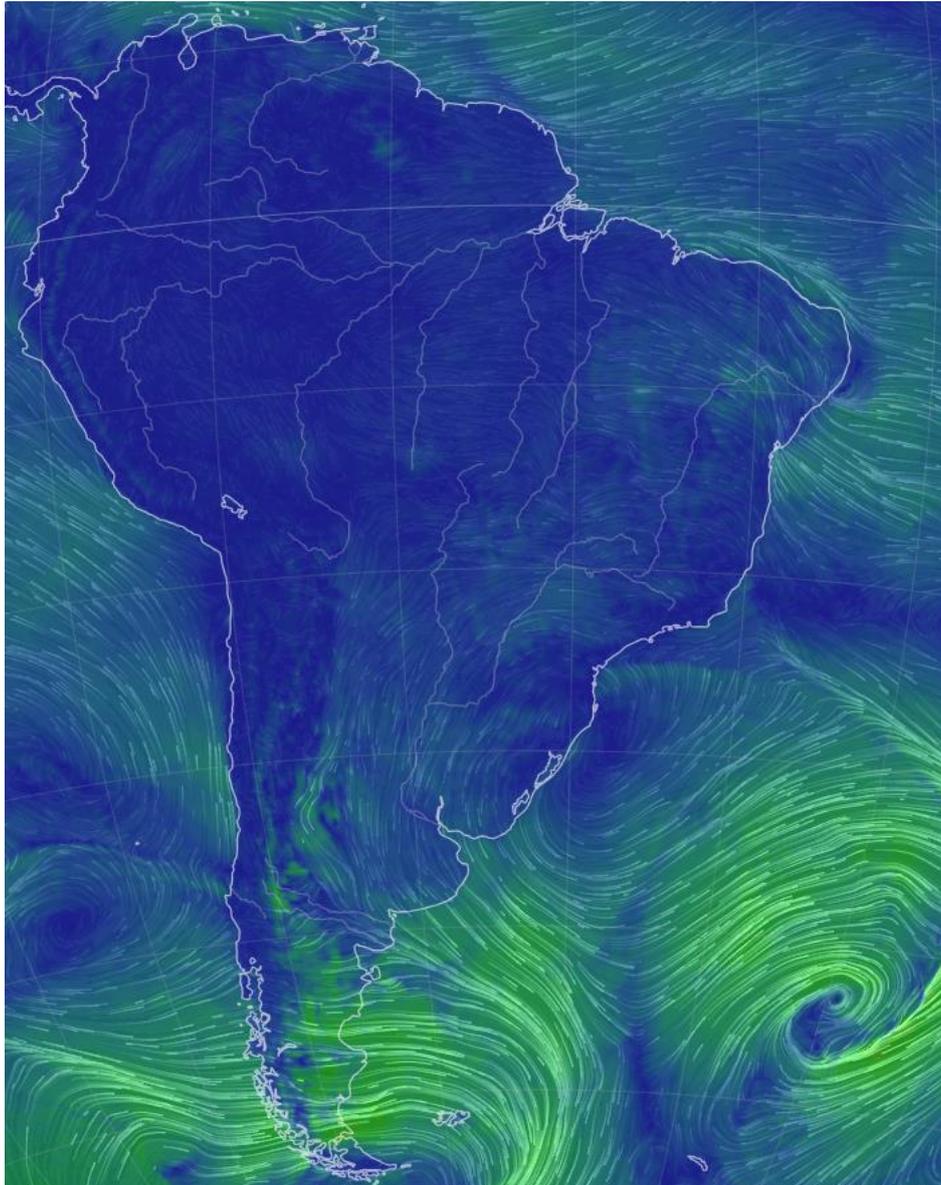


Fonte: [Atlas do Potencial Eólico Brasileiro – Simulações 2013](#).

A Figura 1 demonstra a velocidade média anual do vento; as áreas mais escuras apresentam os melhores índices para a geração de energia eólica. Logo, a melhor região para a produção de energia eólica é no Nordeste, pois recebe diariamente bons índices (CEPEL, 2013).

Como pode ser visto na Figura 2, a qual foi retirada de um mapa interativo em tempo real que mostra as linhas de vento no mundo, a região Nordeste e a região Centro-Sudeste recebem diariamente melhores taxas de vento, fazendo com que os investimentos nessas regiões venham se tornar mais vantajosos devido ao seu potencial.

**Figura 2:** Mapa Interativo das Correntes de Vento no Brasil



**Fonte:** Earth Nullschool – adaptado pelo autor.

Através de dados de pesquisas e análises de mapas interativos, como as Figuras 1 e 2, o aprimoramento das análises do potencial eólico é essencial para o desenvolvimento e para a chegada de novos investimentos, tanto do setor público quanto do setor privado nesta fonte.

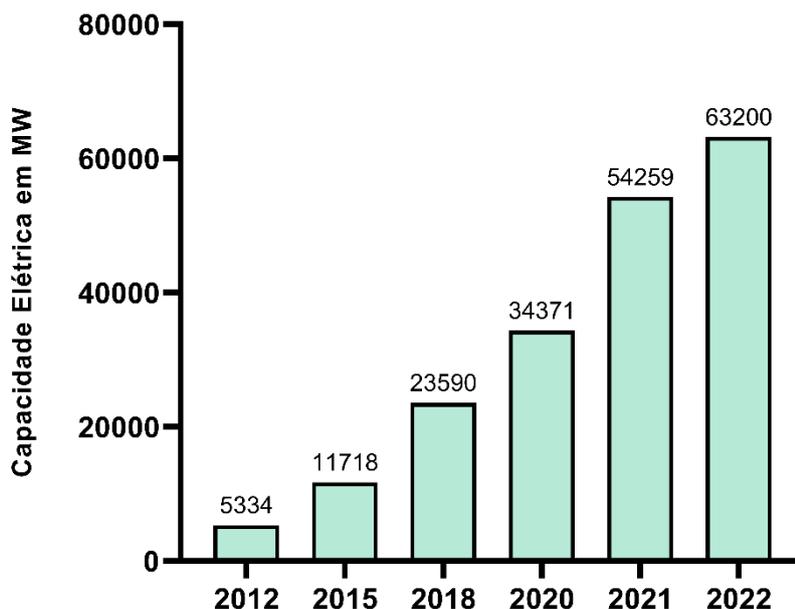
#### **2.2.3.2.1. Projetos *Offshore***

A expansão da energia eólica no Brasil refere-se a projetos *onshore*, ou seja, que estão presentes em meio terrestre. No contexto global, regiões *offshore* representam a

última fronteira para o desenvolvimento da energia eólica (IRENA, 2022).

De acordo com o Gráfico 17, a capacidade mundial de geração eólica *offshore* no ano de 2012 era de 5,3 GW. Já em 2022, a capacidade mundial foi de 63,2 GW, ou seja, em 10 anos, houve um aumento percentual de 1084% na capacidade de produção (IRENA, 2022).

Gráfico 17: Capacidade elétrica em megawatts das usinas *offshore* no mundo



Fonte: [IRENA](#) - adaptado pelo autor.

No caso do Brasil, o mapeamento preliminar do potencial *offshore* identificou áreas disponíveis para a possível exploração desse recurso energético. O país tem aproximadamente 7.490 quilômetros de faixa litorânea, e os ventos que chegam ao litoral são considerados de boa qualidade (CEPEL, 2013). Portanto, o Brasil possui um vasto potencial de energia elétrica de baixo impacto ambiental em seu litoral (IRENA, 2022).

Para que a efetiva estatística se torne realidade, algumas atividades precisam ser executadas, tais como projetos de leis que precisam chegar a seu trâmite final, a exemplo do Projeto de Lei nº 576/2021, que foi aprovado na Comissão de Infraestrutura e que define regras para a exploração de energia eólica, solar ou de marés em alto-mar e em corpos de água internos, como lagos. Depois de ser discutido e aprovado por comissão no

Senado Federal, o texto foi remetido à Câmara dos Deputados, no dia 29/08/22, e aguarda votação. Até o dia 30/08/23, não ocorreu nenhuma outra movimentação (SENADO FEDERAL, 2021).

Enquanto isso, pelo menos 66 projetos para instalação de turbinas eólicas *offshore* foram apresentados e estão sob análise do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). A Associação Brasileira da Energia Eólica (ABEEólica) e a Associação Brasileira de Eólicas Marítimas (ABEMAR) estão otimistas para que, até o ano de 2025, o setor de produção eólica *offshore* comece a fazer parte de matriz energética brasileira (EPE, 2020).

#### **2.2.3.2.2. Estimativas de Recursos**

Com as atuais tecnologias, o potencial eólico *onshore* brasileiro é de até 143 GW. Partindo desse contexto, o objetivo é ter esse potencial instalado até o ano de 2050, o qual poderá ser ampliado com novas tecnologias, como o aumento da altura das torres, o diâmetro das pás e a redução dos preços para a construção/manutenção, além do potencial *offshore* que poderá ser utilizado nos próximos anos (EPE, 2020).

#### **2.2.3.2.3. Desafios Principais**

Entre os desafios da eólica, está o investimento que precisa ser feito para que a matriz energética brasileira tenha um processo de transição efetivo, passando de produção majoritária de hidroelétricas para eólica e solar. Com o aumento de tamanho das partes de um gerador solar *onshore* e *offshore*, uma logística precisa ser implementada para haver a possibilidade de transportes destes para as grandes usinas que serão implementadas no Brasil até o ano de 2050 (EPE, 2020).

No caso do acesso portuário, este precisa ser aprimorado quanto a novas tecnologias e organização - tanto para ajudar o manuseio dos equipamentos eólicos que chegam através de navios para a implantação no território quanto para a implementação de geradores que ficaram no mar de jurisdição brasileira (EPE, 2020).

#### **2.2.3.3. Solar**

A energia solar tem sido a fonte de energia renovável que apresenta o maior incremento de capacidade instalada anualmente, devido aos preços decrescentes, à robustez tecnológica e ao vasto potencial existente (IRENA, 2022).

Tal tendência mundial também se aplica no Brasil. Em razão da localização geográfica, o Brasil recebe elevados índices de incidência da radiação solar e relativamente uniformes em todo o território (EPE, 2020; PEREIRA, MARTINS, GONÇALVES, 2017), havendo, então, a possibilidade de desenvolvimento de projetos solares no país. Logo, dada a redução de custos, a fonte fotovoltaica apresenta-se como alternativa competitiva no fornecimento de energia.

Adicionalmente, a modularidade da tecnologia fotovoltaica possibilita o desenvolvimento de projetos de diferentes escalas, centralizados e distribuídos. Além das tecnologias teoricamente já convencionais da fotovoltaica, ainda há uma linha de pesquisa que busca incluir renováveis com arquitetura, a qual é denominada de BIPV (*Building-Integrated Photovoltaic*), consistindo na busca por integrar as células em materiais de construção, como telhas e vidros, deixando o *design* da construção mais agradável, favorecendo o meio ambiente com a produção sustentável (KARTHICK; KALIDASA, GHOSH *et al.*, 2020; ALNAQI, MOAYEDI, SHAHSAVAR *et al.*, 2019).

Em relação à tecnologia *offshore*, a estimativa do potencial técnico de geração fotovoltaica flutuante é de cerca de 4.443 TWh/ano, levando em conta apenas a faixa litorânea, sem contabilizar os rios e represas que também podem estar aptos para a implantação. A principal diferença entre um sistema solar fotovoltaico convencional e uma usina fotovoltaica flutuante (FVF) é a plataforma flutuante. O sistema *offshore* depende de estruturas de suporte para fixação dos módulos fotovoltaicos, cabos e, em alguns casos, também inversores, juntamente com ancoragem e ancoradouro (EPE, 2020).

Estudos sobre FVF indicam possíveis vantagens com a sua implantação, como ganhos de eficiência devido ao arrefecimento que a água traria para a placa, pois os sistemas fotovoltaicos *onshore* passam por problemas de aquecimento e, portanto, por perdas de eficiência, se não forem resfriados com certa frequência; redução de perda por sombreamento e sujeira; e redução da evaporação dos reservatórios. Por outro lado, algumas desvantagens também são observadas, como o acúmulo de dejetos de pássaros e impacto na vida aquática local (EPE, 2020; STRANGUETO, 2016; GORJIAN, SHARON, EBADI *et al.*, 2021).

#### **2.2.3.3.1. Estimativas de Recursos**

Considerando apenas as áreas cujas características naturais já sofreram

alterações e incluindo locais com uma radiação global média diária superior a 6 kWh/m<sup>2</sup> (Kilowatt-hora por metro quadrado), é viável instalar até 307 GWp (Gigawatt-pico) de capacidade até o ano de 2050 (EPE, 2020).

Além disso, essa produção possui o potencial de ser ampliada ao considerarem-se áreas com radiações diárias mais baixas, bem como se a geração distribuída em residências, estacionamentos e condomínios continuar a crescer de forma exponencial ao longo dos anos, conforme destacado pelo relatório da EPE em 2020. Essas medidas representam uma perspectiva promissora para o aumento da capacidade de geração de energia solar no futuro (EPE, 2020).

#### **2.2.3.3.2. Desafios Principais**

A transição para uma matriz energética com uma parcela significativa de energia proveniente de fontes variáveis, como energia solar e eólica, que dependem das condições climáticas e temporais, e não controláveis, ou seja, que não podem ser diretamente ajustadas conforme a demanda, é um desafio global, e o Brasil não fica de fora dessa realidade.

Essas fontes, dependentes de fatores como tempo e clima, podem gerar variações consideráveis na produção de energia, o que demanda adaptações e otimizações na matriz energética. É fundamental que sejam adotadas tecnologias adequadas para garantir um fornecimento de energia confiável e de qualidade, superando os desafios da maior variabilidade e menor previsibilidade na geração elétrica.

Além desses aspectos, é igualmente importante buscar a extensão da vida útil dos painéis solares e a implementação de práticas adequadas de descarte no final da vida útil das placas (EPE, 2020). Os painéis solares têm uma expectativa de vida útil de aproximadamente 25 a 30 anos. Estudos indicam que, até 2030, o acúmulo de lixo eletrônico (*e-waste*) poderá atingir a marca de 200 mil toneladas, aumentando para 7 milhões de toneladas até 2050 (SODHI; BANASZEK; MAGEE *et al.*, 2022). Contudo, uma gestão adequada do fim de vida útil e a promoção do reuso e descarte responsável desses equipamentos contribuirão para a redução de resíduos.

#### **2.2.3.4. Bioenergia**

O Brasil possui um clima favorável para a utilização e produção de biomassa. O fácil acesso que o país tem a recursos como lenha, bagaço da cana-de-açúcar, lixívia e celulose tornam a bioenergia uma das alternativas promissoras, visando à construção de um futuro energético sustentável (EPE, 2020).

A exploração da biomassa envolve a adoção de várias rotas tecnológicas, que levam em consideração as características dos insumos, como o poder calorífico, o estado físico e as aplicações possíveis. Uma vez que muitas fontes de biomassa apresentam mudanças periódicas em seus processos de produção, a utilização eficaz desses recursos levará em conta as variações mensais na oferta (EPE, 2020).

##### **2.2.3.4.1. Estimativas de Recursos**

O potencial nacional para o aumento da produção é significativo, e o país possui condições para aumentar a participação de biocombustíveis no mercado doméstico e internacional de maneira sustentável (EPE, 2020). A combinação de inteligência artificial (IA), internet das coisas (IoT), robótica, *drones*, *blockchain* e realidade aumentada ajudará a impulsionar a produção de biocombustíveis, aumentando seu consumo no solo brasileiro.

No entanto, especificamente em relação ao etanol, o crescimento do mercado externo pode ser impulsionado com a expansão do número de países produtores e consumidores. Atualmente, cerca de 80% da produção global é suprida por apenas dois países: Brasil e Estados Unidos. Portanto, promover a diversificação da produção e buscar novos mercados consumidores pode fortalecer tanto o mercado interno quanto o externo (EPE, 2020).

##### **2.2.3.4.2. Desafios Principais**

Neste contexto, aumentar a variação da produção de biocombustíveis em diferentes países e diversificar as matérias-primas dos biocombustíveis pode desempenhar um papel crucial na descarbonização de setores, como a navegação marítima, fluvial e o transporte aéreo (EPE, 2020).

#### **2.2.3.5. Energia Nuclear**

O Brasil dispõe de recursos consideráveis de urânio. O país possui conhecimento

e expertise em toda a tecnologia do ciclo do combustível nuclear, desde a mineração até a montagem do elemento combustível. Atualmente, uma única etapa desse ciclo (a conversão e parte do enriquecimento) é realizada no exterior, devido a questões de escala (EPE, 2020).

O país também está conduzindo pesquisas em reatores e aplicações da energia nuclear, como o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), que tem como objetivo construir um reator de pesquisa com múltiplos propósitos, incluindo a produção de radioisótopos para uso em medicina e indústria, testes de materiais e combustíveis nucleares, pesquisa científica e tecnológica com feixe de nêutrons (EPE, 2020; COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR, 2021). Além disso, o Brasil está desenvolvendo um submarino com propulsão nuclear (SN-BR) para atender às diretrizes estabelecidas na Estratégia Nacional de Defesa (EPE, 2020; MARINHA DO BRASIL, 2021).

Além disso, o Brasil opera duas usinas nucleares: Angra I e Angra II, e está construindo uma terceira: Angra III, com previsão de início da operação comercial em janeiro de 2026. Quando entrar em operação, a nova unidade com potência de 1.405 MW será capaz de gerar mais de 12 milhões de Mwh por ano, o que é energia suficiente para abastecer as cidades de Brasília e Belo Horizonte durante o mesmo período (EPE, 2020; ELETROBRAS ELETRONUCLEAR, 2022).

Atualmente, apenas 1,3% da produção energética do país é derivada dessa fonte. No entanto, até 2026, com a implantação de Angra III e o uso de novas tecnologias, o Brasil poderá aproveitar o desenvolvimento das tecnologias de desmantelamento, devido ao expressivo número de projetos que serão descomissionados em todo o mundo. Portanto, o país possui um potencial de produção nuclear em longo prazo, impulsionado pelo fato de possuir consideráveis recursos de urânio (EPE, 2020).

#### **2.2.3.6. Carvão Mineral**

No Brasil, os recursos de carvão mineral estão concentrados na região Sul. As reservas, compostas principalmente por carvão sub-betuminoso, consistem em carvão coqueificável de qualidade inferior e carvão energético de qualidade pobre a média. O carvão mineral nacional é predominantemente utilizado para a geração de energia elétrica e para a produção de calor em setores como papel, petroquímico, alimentos e

cerâmica.

Atualmente, a geração de energia a partir do carvão mineral enfrenta crescente resistência à sua expansão devido às elevadas emissões de GEE. Compromissos internacionais têm motivado a substituição do carvão mineral por fontes renováveis de baixa emissão de GEE. Essa tendência de ampliação de políticas públicas para incentivar fontes de energia mais limpas e restringir as fontes fósseis abre perspectivas para a redução da participação do carvão na matriz elétrica global (EPE, 2020).

#### **2.2.3.6.1. Estimativas de Recursos**

De acordo com a IEA, o carvão perderá participação na matriz elétrica mundial, mas, ainda assim, permanecerá como majoritário até 2040 (IEA, 2021). Nesse sentido, o desenvolvimento tecnológico pode ajudar a aumentar a eficiência e mitigar as emissões (EPE, 2020).

Além disso, o carvão mineral conta com 5,6% da matriz energética brasileira, e essa porcentagem poderá decair com o passar dos anos, devido à entrada de fontes limpas na matriz (EPE, 2020).

#### **2.2.3.6.2. Desafio principal**

O setor buscará, em curto prazo, utilizar tecnologias para reduzir ao máximo as emissões geradas pelo carvão, visando prolongar sua utilização (EPE, 2020). O desenvolvimento de tecnologias limpas do carvão, o uso de ferramentas de modelagem de dispersão atmosférica e a instalação de equipamentos de abatimento têm sido essenciais para cumprir os requisitos legais e para estender o uso do carvão mineral durante a transição energética no Brasil (EPE, 2020; IEA, 2021).

## 2.3. Plano Energético dos Estados Unidos

Os Estados Unidos da América (EUA) têm utilizado hidroelétricas e biocombustíveis desde 1949. A energia eólica foi incorporada ao cenário energético americano a partir de 1985, enquanto a energia solar foi integrada a partir de 1988. Apesar da rápida adoção de fontes renováveis, os EUA ocupam a segunda posição no *ranking* dos maiores emissores de gases poluentes (THE WHITE HOUSE, 2022; IEA, 2022).

O atual presidente dos Estados Unidos, Joe Biden, reafirmou o compromisso com o Acordo de Paris, que havia sido retirado pelo ex-presidente Donald Trump, alegando altos custos para transformar a matriz energética do país em uma matriz mais limpa.

Biden estabeleceu uma meta de reduzir as emissões de dióxido de carbono em 50-52% até 2030 (THE WHITE HOUSE, 2022; EERE, 2022). A sua gestão enxerga na crise energética uma oportunidade para conduzir o país em direção a um futuro renovável, liderando o mundo na fabricação e exportação de tecnologias de energia limpa, criando empregos sindicais bem remunerados, reduzindo, dessa forma, os custos energéticos para as famílias.

### 2.3.1. Principais Objetivos do Plano Energético Americano

- Reduzir pela metade as emissões de GEE até 2030;
- Atingir 100% de eletricidade limpa até 2035;
- Atingir emissões líquidas zero de gases de efeito estufa até 2050;
- Construir usinas eólicas *offshore* visando à produção limpa de energia, à utilização do território marítimo e à criação de empregos;
- Construir usinas solares, eólicas e geotérmicas *onshore*, visando à utilização de terras públicas e criar empregos para as comunidades relacionadas a estes projetos;
- Construir milhares de quilômetros de novas linhas de transmissão de energia elétrica para suportar e auxiliar a transição energética pela qual o país passará.

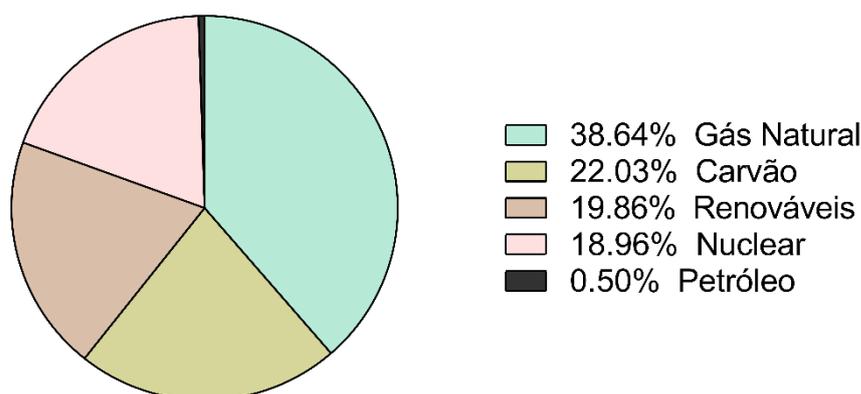
Para alcançar esses objetivos, foram promulgadas leis que incentivam a criação de novos empregos e implementadas reduções nas taxas para a compra de veículos

elétricos, além da modernização da rede elétrica do país para acomodar eficazmente as novas fontes de energia, que serão instaladas nos próximos anos (THE WHITE HOUSE, 2022; EIA, 2023; CLIMATE WATCH, 2023).

Em 2019, com o foco na redução das emissões de GEE e na adoção de fontes de energia limpa, os EUA alcançaram, pela primeira vez, um total de produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis superior ao da produção de energia proveniente do carvão.

No ano de 2021, uma capacidade total de 4.175 GW de energia de fontes limpas estava disponível para uso em todo o território (THE WHITE HOUSE, 2022). Para ilustrar essa conquista, o Gráfico 18 apresenta a matriz energética atual dos Estados Unidos e a diferença percentual entre fontes renováveis e não renováveis.

**Gráfico 18:** Matriz Energética dos EUA



Fonte: [U.S Energy Information Administration](#) – adaptado pelo autor.

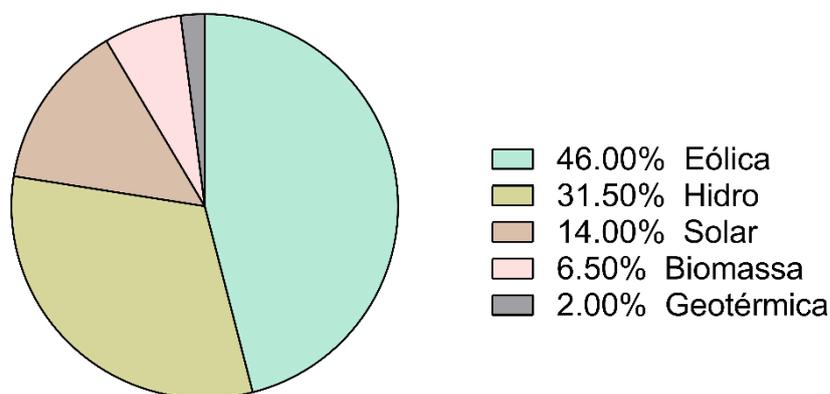
Embora as fontes renováveis estejam crescendo anualmente e estabelecendo recordes de expansão em termos de capacidade energética nos EUA, a matriz energética do país ainda é composta por mais da metade de fontes não renováveis, como é mostrado no Gráfico 18.

Os EUA têm o objetivo de aumentar sua capacidade de geração de energia a partir de fontes renováveis, com o objetivo de promover a sustentabilidade em todo o território (DOE, 2021).

### 2.3.2. Fontes Renováveis

A energia renovável gera aproximadamente 20% de toda a eletricidade dos EUA, conforme mostrado no Gráfico 18. O Gráfico 19 mostra a porcentagem de cada renovável:

**Gráfico 19:** Porcentagem das Renováveis nos Estados Unidos



Fonte: [Office of Energy Efficiency & Renewable Energy](#) – adaptado pelo autor.

Os EUA são um país com abundantes recursos de energia renovável. A quantidade total de recursos disponíveis em seu território é 100 vezes maior do que a necessidade anual de eletricidade da nação (EERE, 2022; EIA, 2023).

As fontes de energia renovável mais abundantes nos Estados Unidos incluem a solar, eólica e geotérmica, enquanto outras fontes, como biomassa e nuclear, desempenham papéis secundários.

#### 2.3.2.1. Solar

Os Estados Unidos possuem um território adequado para a expansão da produção de energia solar. O governo americano tem a intenção de aumentar a participação da energia solar de 4% para 40% até 2035; e 45% até 2050. Para atingir tal objetivo, o *Department of Energy* (DOE) anunciou o estudo '*Solar Futures Study*', que detalha o potencial e o papel da energia solar na descarbonização da geração de energia nos EUA (DOE, 2021).

O estudo demonstra que a energia solar tem o potencial de abastecer até 40% das residências americanas até 2035, criando milhões de empregos no processo. Para atingir essa meta, será necessário quadruplicar a instalação de painéis solares a cada ano

(EIA, 2023; DOE, 2021).

Além disso, o estudo estabelece um objetivo de longo prazo para que a energia solar forneça 1.600 GW em uma rede de emissão zero, gerando mais eletricidade do que a consumida em todos os edifícios residenciais e comerciais dos EUA em 2022.

### **2.3.2.2. Eólica**

Os Estados Unidos abrigam um dos maiores mercados eólicos do mundo. Para se manter competitivo neste setor, o DOE investe em projetos de pesquisa e desenvolvimento eólicos *onshore* e *offshore*, a fim de promover inovações tecnológicas, criar oportunidades de trabalho e impulsionar o crescimento econômico.

O país possui o objetivo de ter 20% da sua matriz energética composta por energia eólica, *onshore* e *offshore* até 2030; e, em 2050, o objetivo é de 35% apenas de energia eólica. Em 2022, o país tinha de capacidade de produção eólica *onshore* 140,8 GW, e 41MW de *offshore* (IRENA, 2022).

### **2.3.2.3. Geotérmica**

Existe um potencial que ainda não foi explorado para a fonte geotérmica, pois o calor que flui do interior da Terra é continuamente reabastecido pela decomposição de elementos radioativos naturais e permanecerá disponível por bilhões de anos.

A geotérmica é uma solução de energia renovável e diversificada para os EUA, fornecendo geração de eletricidade confiável e flexível. Tais recursos podem ser encontrados em todo o país e estão sempre disponíveis para a utilização, visto que as usinas geotérmicas produzem eletricidade de forma consistente; portanto, tornam-se confiáveis para auxiliar a transição para a eólica e solar, sem prejudicar o meio ambiente.

Em 2022, os EUA possuíam uma capacidade de produção de 14.8 GW oriundos da geotérmicas. Através do plano energético americano, tem-se o objetivo de produzir 60 GW de capacidade de geração de eletricidade, mais de 17.000 sistemas de aquecimento urbano e 28 milhões de bombas de calor geotérmicas, que poderão ser usados até o ano de 2050 (EIA, 2023; EERE, 2022).

### **2.3.2.4. Nuclear, Hidroelétrica e Oceânica**

As fontes solar, eólica e geotérmica são os recursos renováveis mais abundantes em todo o país; logo, o foco dos EUA será de ampliar a produção dessas três fontes.

O objetivo relacionado à energia nuclear é aumentar sua capacidade de produção de 11% para 13% até 2050 (DOE, 2021). A energia hidrelétrica, já amplamente difundida, está programada para aumentar de 5% para 6% em sua capacidade de produção até 2050 (DOE, 2021; THE WHITE HOUSE, 2022).

Quanto à energia oceânica, é necessário desenvolver tecnologia para aproveitar seu potencial total no futuro, uma vez que os Estados Unidos têm uma extensa costa, o que lhes confere um grande potencial nesse campo (DOE, 2021; THE WHITE HOUSE, 2022).

## **2.4. Plano Energético da União Europeia**

A União Europeia (UE) surgiu no contexto pós-Segunda Guerra Mundial (1939-1945) com o propósito de promover a recuperação conjunta, restabelecer a paz, unir os países do continente e garantir o bem-estar de sua população. Atualmente, a UE é um bloco político e econômico composto por 27 nações europeias, desempenhando um papel fundamental nas esferas econômica, política, jurídica, segurança e desenvolvimento socioeconômico de seus países-membros (UE, 2022).

Os países que compõem a UE são: Alemanha, Áustria, Bélgica, Bulgária, República Checa, Chipre, Croácia, Dinamarca, Eslováquia, Eslovênia, Espanha, Estónia, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Irlanda, Itália, Letónia, Lituânia, Luxemburgo, Malta, Holanda, Polónia, Portugal, Romênia e Suécia (EU, 2022).

A invasão da Rússia à Ucrânia acelerou a implantação de energia renovável na União Europeia, afetando especialmente a implantação de curto prazo, já que o bloco precisa reduzir urgentemente sua dependência das importações de gás natural russo (IEA, 2023).

Como resultado das ações políticas em muitos países europeus, revisamos a previsão de adições de capacidade de energia renovável para 2023 e 2024, aumentando em 38%, em comparação com as expectativas da Agência Internacional de Energia (IEA) antes da guerra em dezembro de 2021 (IEA, 2023, p. 21).

### **2.4.1. Objetivos da UE**

Entre os objetivos do bloco, há, especificamente, uma diretiva que tem como foco as energias renováveis, e os seus objetivos até 2030 são:

- Criação de condições para o desenvolvimento sustentável;
- Fomento ao progresso da ciência e da tecnologia;
- Diversificar as fontes de energia da Europa, garantindo a segurança energética;
- Garantir o funcionamento de um mercado interno da energia plenamente integrado;
- Melhorar a eficiência energética dos países do bloco e reduzir a dependência das importações de energia, além de reduzir as emissões de GEE;
- Descarbonizar a economia.

O bloco enfrenta diversos desafios com a sua transição energética, como a volatilidade das renováveis solar e eólica. Devido à falta de uma estrutura sólida de armazenamento e de distribuição, as fontes renováveis podem passar por momentos de escassez de seus recursos naturais, tal como em dias nublados, chuvosos e dias sem ventos acima da média necessária (EU, 2022).

## **2.4.2. Acordo Verde Europeu**

Todos os 27 Estados-Membros da UE comprometeram-se a transformar a Europa no primeiro continente neutro em termos climáticos até 2050. Portanto, criaram o *Delivering the European Green Deal* - Energia Limpa para todos os Europeus, também conhecido como Acordo Verde Europeu.

### **2.4.2.1. Objetivos do Acordo**

- Redução de 55 %, até 2030, nas emissões de GEE em comparação ao ano de 1990;
- Aumento para 42,5% da quota-parte das energias renováveis no consumo de energia. Essa porcentagem era de 32% até março de 2023, porém, tal legislação foi acelerada e mais bem planejada;
- Melhoria de 32,5% na eficiência energética do bloco (EU, 2023);
- Interconexão entre os países membros de 15 % das redes elétricas.

Tais objetivos do acordo criarão novas oportunidades de inovação, investimento e empregos, bem como redução das emissões de GEE, enfrentamento à pobreza energética e redução da dependência de energia externa. (EUROPARL, 2020).

### **2.4.3. Eficiência Energética**

A pedra angular da política de eficiência energética da UE é a Diretiva 2012/27/eu, relativa à eficiência energética, que estabelece um conjunto de medidas vinculativas para ajudar o bloco a atingir o seu objetivo de ser o primeiro continente neutro em termos climáticos até 2050 (EUR-LEX, 2021).

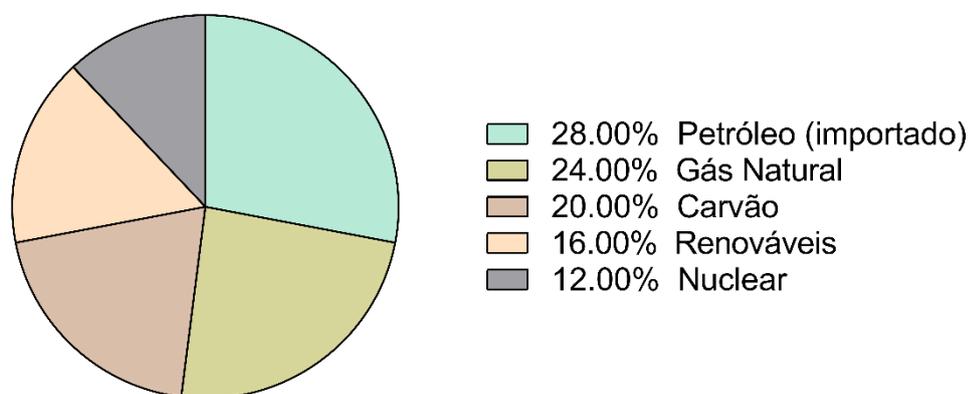
Cada país da UE deve desenvolver um Plano Nacional de Energia Integrado, com o prazo de 10 anos, descrevendo como pretende atingir as metas nacionais de eficiência energética para 2030 (EUROPARL, 2020).

#### 2.4.4. Fontes Renováveis do Bloco

A Europa possui um vasto potencial, o qual, se for utilizado de forma estratégica poderá aumentar a sua capacidade energética a partir de fontes de energias renováveis. A energia solar, eólica *onshore* e *offshore*, oceânica, hidroelétrica, biomassa são fontes de energia renováveis as quais os países do bloco utilizam para diversificar a sua matriz energética e diminuir a importação de gás natural de outros países fora do bloco (EU, 2023).

A matriz energética do bloco ainda conta com uma pouca parcela de energia oriunda de fontes renováveis, 16%, como pode ser visto no Gráfico 20.

Gráfico 20: Matriz energética da União Europeia



Fonte: IEA – adaptado pelo autor.

Em 2023, a UE realizou alterações em suas metas para as fontes renováveis em sua matriz energética. O objetivo anterior era de 32%, mas, agora, passou para 42,5% de fontes renováveis até 2030. Atualmente, 16% são realidade, conforme o Gráfico 20.

A mudança ocorreu devido à guerra na Ucrânia e à necessidade de reduzir a dependência de importação de energia da Rússia. Os países do bloco estão considerando importar hidrogênio renovável e biometano de outros países, além de expandir os investimentos - tanto públicos como privados - na produção de energia solar e eólica *onshore* e *offshore*, aproveitando suas vastas costas e recursos oceânicos (UE, 2023).

##### 2.4.4.1. Energia Solar

O plano denominado “*REPowerEU*”, que busca eliminar progressivamente a dependência da UE em relação às importações de gás, petróleo e carvão russo, introduziu uma estratégia para duplicar a capacidade solar fotovoltaica para 320 GW até 2025, e

instalar 600 GW até 2030. O plano estabelece uma obrigação legal de instalar painéis solares nos novos edifícios públicos, comerciais e residenciais, além de funcionar como uma estratégia para duplicar a taxa de implantação de bombas de calor nos sistemas de aquecimento urbanos e municipais (EURO-PARL, 2020).

#### **2.4.4.2. Biomassa e Biocombustíveis**

A Diretiva Energias Renováveis (Diretiva (UE) 2018/2001), atualmente em vigor, inclui uma meta de 3,5% até 2030; e uma meta intermediária de 1% até 2025 para os biocombustíveis avançados e o biogás no setor dos transportes.

Em julho de 2021, o bloco publicou uma proposta de Diretiva de Energias Renováveis visando a um aumento na capacidade de produção de 0,5% até 2025; e 2,2% de biocombustíveis até 2030 (EURO-PARL, 2020).

#### **2.4.4.3. Hidrogênio**

Em julho de 2020, a Comissão adotou a estratégia europeia para a integração do sistema energético e uma nova estratégia do hidrogênio na Europa, a fim de explorar de que forma a produção e a utilização de hidrogênio renovável podem contribuir para descarbonizar a economia da UE (EURO-LEX, 2014; EURO-LEX, 2020; EUR-LEX, 2012).

A estratégia para o hidrogênio introduz três objetivos:

- 6 GW de eletrolisadores (um dispositivo que permite produzir hidrogênio por meio da eletrólise, capaz de quebrar as moléculas da água em hidrogênio e oxigênio através da eletricidade) de hidrogênio renovável na UE e até 1 milhão de toneladas de hidrogênio renovável produzidas até 2024;
- 40 GW de eletrolisadores de hidrogênio renovável;
- A implantação de hidrogênio renovável em grande escala a partir de 2030, tendo como meta uma produção interna dos países membros de 10 milhões de toneladas de hidrogênio renovável até 2030.

#### **2.4.4.4. Energia Eólica *onshore* e *offshore***

Em apenas uma década, a energia eólica aumentou sua capacidade na Europa aproximadamente em 35%, atingindo a capacidade total de 254.8 GW. Em 2023, a energia eólica *onshore* e *offshore*, no bloco, conseguiu atingir a demanda elétrica em

28.9%, dos quais 25.1 % eram da eólica *onshore*, e 3.8% da *offshore* (WIND EUROPE, 2030).

O foco para a energia eólica na UE será a criação e utilização de usinas *offshore*, aproveitando o espaço marítimo disponível. O primeiro parque eólico marítimo do mundo foi instalado em Vindeby, na costa meridional da Dinamarca, em 1991. Na época, poucos acreditavam que poderia ser mais do que um projeto de demonstração. Trinta anos mais tarde, a produção de eólica *offshore* europeia utiliza uma tecnologia avançada e de grande escala para fornecer energia aos europeus (EURO-LEX, 2012; EURO-LEX, 2023; IRENA, 2023).

Atualmente, os parques eólicos marítimos produzem eletricidade limpa em concorrência com outras - produzidas com tecnologia existente baseada em combustíveis fósseis, sendo, por vezes, mais barata (EURO-LEX, 2012; EURO-LEX, 2023; IRENA, 2023).

O bloco possui, em setembro de 2023, a capacidade *offshore* de 30GW, tendo como objetivo atingir 60 GW de *offshore* até 2030; e atingir 300 GW de potência instalada até 2050, apenas nessa modalidade (EURO-LEX, 2012; EURO-LEX, 2023; WIND EUROPE, 2023).

#### **2.4.4.5. Energia Oceânica**

Em janeiro de 2014, a Comissão das Energias Renováveis da União Europeia publicou uma comunicação intitulada “Energia azul: materializar o potencial da energia oceânica nos mares e oceanos da Europa no horizonte de 2020”. Tal comunicação estabeleceu um plano de ação para apoiar o desenvolvimento da energia oceânica. A costa europeia possui um vasto potencial para a utilização de tal tecnologia, e a comissão também colocou o objetivo para que a indústria das energias renováveis marinhas, além da eólica *offshore*, possa crescer até 5 vezes até 2030, e 25 vezes até 2050, promovendo a utilização do potencial disponível para os países-membros (EURO-LEX, 2014).

A energia oceânica é um recurso renovável próximo que, em condições favoráveis, poderá contribuir com cerca de 10% da demanda de energia da UE até 2050 (EURO-LEX, 2014).

### **2.4.5. Transição Energética**

As energias renováveis geram quase 70% mais empregos do que os combustíveis fósseis. A energia fotovoltaica cria mais que o dobro de empregos por unidade de produção de eletricidade em comparação com o carvão ou o gás natural. Nesse sentido, o aumento do uso de energia proveniente de fontes renováveis sustentáveis, incluindo o hidrogênio renovável, reduzirá as emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE). A substituição dos combustíveis fósseis também reduzirá a poluição do ar, melhorando a qualidade do ar nas cidades, especialmente através do aquecimento urbano. No entanto, para incorporar mais fontes renováveis na matriz elétrica, é essencial lidar com a intermitência natural das gerações renováveis, o que requer o desenvolvimento de fontes de energia despacháveis (UE, 2023).

Várias tecnologias têm sido desenvolvidas para resolver o problema da intermitência das fontes renováveis. Embora as baterias sejam uma opção, elas ainda são caras e ineficientes para armazenar toda a energia necessária para eliminar a intermitência. O hidrogênio verde é considerado uma das alternativas, no entanto exige mais pesquisa e desenvolvimento para ser competitivo. Portanto, é evidente que é necessário ter fontes de energia que ofereçam maior confiabilidade ao sistema a fim de garantir o crescimento sustentável das fontes renováveis (UE, 2023).

Uma possibilidade, enquanto o hidrogênio verde não atinge melhor competitividade de mercado, é o gás natural, pois é o combustível mais adequado para fornecer suporte e segurança, equilibrando os sistemas elétricos em transição (UE, 2023).

### **3. A Revolução Solar: Desenvolvimento e Potencial da Energia Solar Global e No Brasil**

A energia solar é uma fonte praticamente inesgotável de energia, pois estima-se que uma hora de energia solar a atingir a superfície da Terra é suficiente para atender a demanda mundial por um ano. De toda a energia solar que chega à Terra, aproximadamente metade atinge a superfície, totalizando cerca de 885 milhões de TWh/ano, mais de 8.500 vezes o consumo final total de energia mundial. Em 2021, foram gerados 1002.9 TWh (IEA, 2022; IRENA, 2019).

A energia solar representa uma fonte em crescimento, disponível gratuitamente, que desempenha um papel fundamental na gestão de crises energéticas de longo prazo. A geração de energia solar é facilmente realizada através de painéis fotovoltaicos, seja para uso doméstico, seja para uso industrial. A indústria solar está em constante desenvolvimento globalmente, devido à crescente demanda por energia. Os combustíveis fósseis, que costumavam ser a principal fonte de energia, estão se tornando limitados, e outras alternativas são geralmente caras. A energia solar tornou-se uma ferramenta essencial para impulsionar o progresso econômico de países em desenvolvimento e para melhorar a qualidade de vida de comunidades desfavorecidas. Este avanço tornou-se possível após extensivas pesquisas e investimentos destinados a acelerar seu desenvolvimento (IEA, 2022; IRENA, 2019; IEA, 2023).

A indústria solar tem o potencial de se tornar uma das melhores opções para atender às futuras demandas globais de energia. Ela se destaca em termos de disponibilidade, custo-benefício, acessibilidade, capacidade e eficiência em comparação com outras fontes de energia renovável (IEA, 2022; IRENA, 2019; IEA, 2023).

#### **3.1. Funcionamento da Célula Fotovoltaica**

Uma célula fotovoltaica (PV) é um dispositivo que funciona sem partes móveis e tem a capacidade de converter diretamente a energia da luz solar em eletricidade. Além disso, algumas dessas células podem também converter a luz artificial em eletricidade.

A luz solar é composta por partículas energéticas chamadas fótons, que

possuem diferentes níveis de energia correspondentes aos vários comprimentos de onda no espectro solar (EIA, 2023).

Essas células são essencialmente construídas com materiais semicondutores. Quando os fótons colidem com a superfície da célula, eles podem ser refletidos, atravessar a célula ou ser absorvidos pelo material semicondutor. No entanto, apenas os fótons absorvidos têm a capacidade de fornecer a energia necessária para gerar eletricidade (EIA, 2023).

Quando o material semicondutor absorve luz solar suficiente, elétrons são liberados dos átomos do material. Para garantir a eficiência desse processo, durante a fabricação, a superfície do material passa por um tratamento especial que torna a parte frontal da célula mais receptiva aos elétrons liberados. Isso permite que os elétrons migrem naturalmente em direção à superfície da célula. (EIA, 2023).

### **3.2. Células Fotovoltaicas, Painéis e Conjuntos**

A célula fotovoltaica é o componente essencial de um sistema fotovoltaico (PV). Essas células individuais podem variar em tamanho, com diâmetros variando de 0,5 a 4,0 polegadas. No entanto, é importante notar que uma única célula gera apenas entre 1 e 2 watts de potência, o que é inadequado para muitas aplicações (EIA, 2023).

As células são conectadas eletricamente em um painel fotovoltaico (módulo), que é devidamente protegido e impermeabilizado para resistir às condições climáticas. Os painéis fotovoltaicos podem variar em tamanho e capacidade de geração de eletricidade (EIA, 2023).

O desempenho na geração de energia dos painéis fotovoltaicos está diretamente relacionado ao número de células que compõem o painel e à área que ele ocupa. Painéis fotovoltaicos podem ser agrupados para formar um conjunto fotovoltaico, que pode incluir desde dois painéis até centenas deles. A quantidade de painéis fotovoltaicos em um conjunto determina a quantidade de eletricidade que esse conjunto será capaz de gerar (EIA, 2023).

As células fotovoltaicas geram eletricidade em corrente contínua (CC). Essa eletricidade em CC é frequentemente usada para recarregar baterias, que, por sua vez, alimentam dispositivos em funcionamento (EIA, 2023).

A maioria dos sistemas de transmissão e distribuição elétrica distribui eletricidade na forma de corrente alternada (CA). Para atender a esse cenário, os painéis fotovoltaicos ou conjuntos incorporam dispositivos conhecidos como inversores, que convertem a eletricidade de CC para CA (EIA, 2023).

Para maximizar a geração de eletricidade, é importante que os painéis fotovoltaicos estejam direcionados diretamente para o sol. Embora existam sistemas de rastreamento que permitem ajustar a posição dos painéis ao longo do movimento solar, essas soluções geralmente exigem um alto investimento financeiro. A maioria dos sistemas fotovoltaicos possui painéis fixos, que são geralmente orientados para o sul no hemisfério norte, e para o norte no hemisfério sul, seguindo uma inclinação que otimiza o desempenho (EIA, 2023).

### 3.3. Eficiência de um Sistema PV

A eficiência da conversão de luz solar em eletricidade por células fotovoltaicas depende do tipo de material semicondutor e da tecnologia utilizada. Existem, atualmente, cinco famílias de semicondutores: células multijunção, células de arsenieto de gálio de junção única (GaAs), células de silício cristalino, tecnologias de filme fino e tecnologias fotovoltaicas emergentes (NREL, 2023).

Os recordes de eficiência de cada família é de:

- **Células Multijunção:** 47,6% - modelo: célula solar de quatro junções para sistemas fotovoltaicos de concentração. São dispositivos semicondutores que empilham várias camadas de materiais para absorver diferentes faixas do espectro solar, permitindo maior eficiência na conversão de energia solar em eletricidade. Essas células são frequentemente usadas em aplicações de alta eficiência, como satélites espaciais, devido à sua capacidade de aproveitar um espectro mais amplo de luz solar. No entanto, devido à complexidade dos materiais e à fabricação, essas células tendem a ser mais caras e são aplicadas em situações em que a eficiência justifica o custo, como em tecnologia espacial e algumas instalações terrestres de

energia solar concentrada (GREEN, DUNLOP, YOSHITA et al, 2023; NREL, 2023; EZZI, ANSARI, 2022).

- **Células Junção Única:** 30,8% - modelo: célula solar de junção simples GaAs para sistemas de concentração. Compostas por um único material semicondutor, geralmente de silício, essas células absorvem a luz solar e liberam elétrons, criando uma diferença de potencial que gera uma corrente elétrica. Embora possuam uma eficiência geralmente mais baixa em comparação com tecnologias mais avançadas, como células multijunções, as células de junção única são amplamente utilizadas em aplicações residenciais e comerciais devido à sua simplicidade, custo acessível e durabilidade (GREEN, DUNLOP, YOSHITA et al., 2023; NREL, 2023; EZZI; ANSARI, 2022).
- **Células de Silício Cristalino:** 27,6% - modelo: cristal simples para sistemas de concentração. Compostas por uma única camada de silício cristalino de alta pureza, essas células absorvem fótons de luz solar, gerando corrente elétrica por meio do movimento de elétrons. São as mais comuns no mercado de energia solar devido à sua confiabilidade, eficiência moderada e custo acessível, sendo empregadas em aplicações residenciais, comerciais e industriais (GREEN, DUNLOP, YOSHITA et al., 2023; NREL, 2023; EZZI, ANSARI, 2022).
- **Células de Tecnologia de Fio Fino:** 23,6%, também conhecidas como *thin-film*, são dispositivos solares fabricados nos quais são usadas camadas finas de materiais semicondutores, depositados sobre substratos como vidro, plástico ou metal. Essa abordagem permite uma produção mais econômica e versátil em comparação com as células solares convencionais de silício cristalino. Embora tenham uma eficiência geralmente menor, as células de filme fino são leves, flexíveis e podem ser integradas de maneiras criativas, tornando-as adequadas para aplicações em superfícies curvas, vestimentas, telhados e outras configurações não convencionais (CHOPRA, PAULSOM, DUTTA, 2004).
- **Tecnologia fotovoltaica emergente:** 33,7%, combinação de células solares de perovskita com células solares de silício (Si) em uma estrutura monolítica. As células estão integradas em uma única peça. A combinação dessas duas tecnologias em tandem, ou seja, uma acima da outra, permite que a luz solar seja

direcionada primeiro para a célula de perovskita, que absorve comprimentos de onda mais altos de energia, enquanto os comprimentos de onda mais baixos e menos energéticos passam através dessa célula e são absorvidos pela célula de silício abaixo. Isso aumenta a eficiência geral de conversão de energia e permite que mais faixas do espectro solar sejam aproveitadas (NREL, 2023; EZZI, ANSARI, 2022).

Os dados estatísticos referentes às maiores eficiências já atingidas estão atualizados até outubro de 2023. É importante notar que esses números estão sujeitos a atualizações à medida que novos avanços são alcançados na área de células fotovoltaicas.

A eficiência de um sistema fotovoltaico é um parâmetro crucial que quantifica a capacidade do sistema de converter a energia solar incidente em eletricidade utilizável. Essa métrica é fundamental para avaliar o desempenho global e a viabilidade econômica de sistemas fotovoltaicos. A eficiência é, usualmente, expressa como a proporção da energia solar incidente, que é convertida em eletricidade e é calculada pela relação entre a potência elétrica gerada e a irradiação solar incidente (CHOPRA, PAULSON, DUTTA, 2004; NREL, 2023; EZZI, ANSARI, 2022).

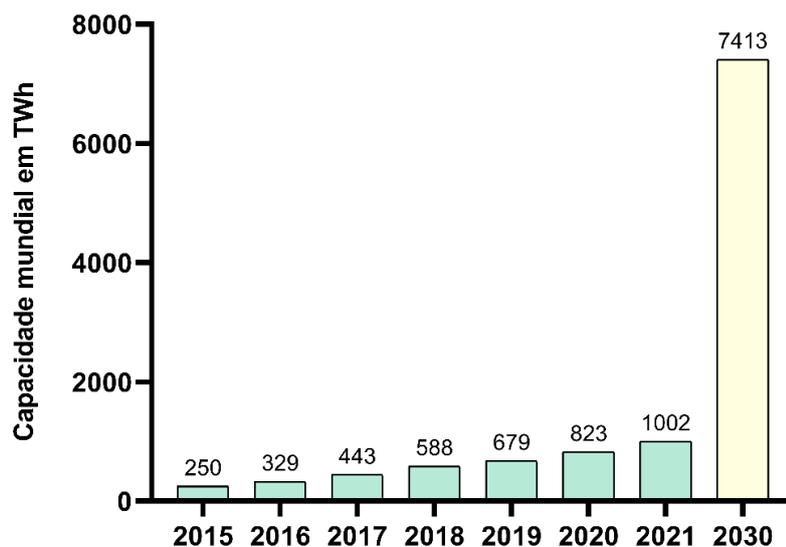
### **3.4. Crescimento Global da Fotovoltaica**

O setor de geração de energia solar fotovoltaica registrou um aumento recorde de 179 TWh (Terawatt-hora) em 2021, representando um aumento de 22% em relação ao ano anterior, ultrapassando a marca de 1.000 TWh. Esse crescimento foi o segundo maior entre todas as tecnologias renováveis em 2021, sendo superado apenas pela energia eólica. Atualmente, a energia solar fotovoltaica contribui com 3,6% da geração global de eletricidade, posicionando-se como a segunda maior tecnologia de energia renovável, atrás apenas da energia hidrelétrica e à frente da energia eólica (IEA, 2023; KUMAR, AGARWAL, 2022; IRENA, 2019; IEA, 2022).

Observa-se uma tendência mundial em que a energia solar está se tornando a opção de menor custo para a geração de eletricidade em muitas partes do mundo, o que impulsiona investimentos significativos no setor. No entanto, para cumprir as metas ambiciosas de emissões líquidas zero estabelecidas pelo programa NETZERO 2050, é

necessário um crescimento médio anual de geração de energia solar de 25% no período de 2023 a 2030. Isso corresponde a um aumento de mais de três vezes na capacidade anual de implantação até 2030. O Gráfico a seguir mostra a capacidade mundial instalada em 2021 e indica a capacidade que precisará estar instalada em 2030, para que as metas ambientais possam ser atingidas (IEA, 2023).

**Gráfico 21:** Crescimento solar em TWh até o ano de 2021 e a meta para atingir em 2030



Fonte: [IEA](#).

A energia solar vivencia um rápido crescimento em escala global, impulsionado, em parte, pelo aumento vertiginoso da eficiência das células fotovoltaicas e pela redução de custos e manutenção. Em maio de 2021, estabeleceu-se um recorde de eficiência de 29,2% ao combinar uma célula de perovskita com outra de silício texturizado. Entretanto, em julho do mesmo ano, o Instituto de Sistemas de Energia Solar (ISE) em Freiburg, na Alemanha, atingiu a eficiência de 47,6%. Esses avanços demonstram a rápida dinâmica do setor (TECH, 2022; ISE, 2022).

Apesar do crescimento notável e dos avanços tecnológicos, a energia solar enfrenta desafios significativos para alcançar as metas estabelecidas pelos países em acordos internacionais e Conferências das Partes (COP). Nesse contexto, nações com vastos territórios em terra e mar, como Brasil, EUA, China e Austrália, desempenham um papel crucial na implementação de novas usinas *onshore* e *offshore* para aproveitar o

potencial solar nessas regiões, onde a irradiação solar é mais elevada do que em países como Finlândia, Japão e França.

### **3.5. Principais Produtores**

O crescente interesse na energia solar como uma fonte limpa, sustentável e renovável de eletricidade tem impulsionado sua adoção em todo o mundo. Tanto a fotovoltaica (PV) quanto a concentrada (CSP) desempenham um papel significativo na transição global para uma matriz energética mais limpa. Como resultado, um número crescente de países está aumentando seus investimentos em capacidade solar, tornando-se líderes no setor.

Nesta seção, serão explorados os dez principais produtores de energia solar, combinando a capacidade instalada de PV e CSP. Esses países em destaque evidenciam-se por sua visão estratégica, políticas favoráveis, incentivos financeiros e investimentos públicos e privados em infraestrutura para promover a expansão da energia solar.

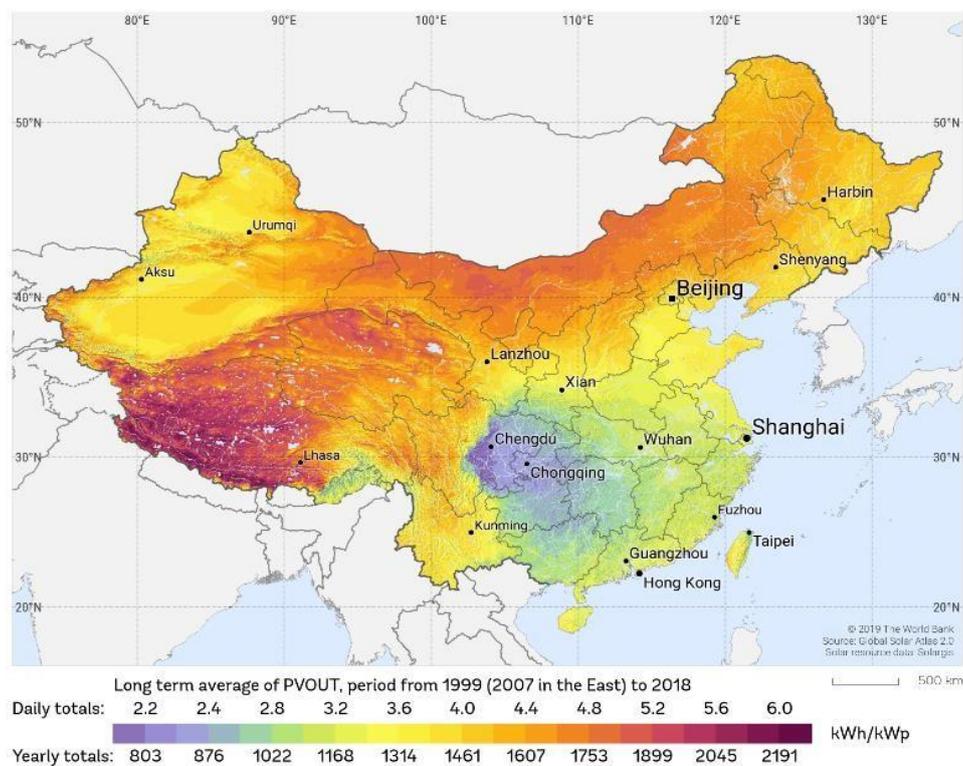
#### **3.5.1. China**

A China, como protagonista na produção global de energia solar, desempenhou um papel fundamental no crescimento da geração fotovoltaica em 2021, contribuindo com, aproximadamente, 38% desse aumento. Com uma capacidade instalada atual de 306,97 MW, o país continua a demonstrar um compromisso contínuo com o desenvolvimento de fontes de energia renováveis. Em junho de 2022, o governo chinês divulgou seu 14º Plano Quinquenal, estabelecendo a meta de alcançar 33% da geração de eletricidade proveniente de fontes renováveis até 2025 (um aumento em relação aos 29% de 2021), incluindo uma meta específica de 18% para tecnologias eólicas e solares (IEA, 2023; STATISTA, 2023).

O mapa do potencial de irradiação na China, ilustrado na Figura 3, destaca as regiões com as mais altas e constantes irradiações solares no país, expondo o bom potencial do país para a implementação de usinas solares. As regiões com tonalidades mais próximas do vermelho indicam maior irradiação solar, tornando-as áreas favoráveis para a instalação de projetos solares.

Além de ser o maior produtor atual de energia solar e abrigar o segundo maior parque solar do mundo, a China também lidera a cadeia de fornecimento de painéis solares. Desde a extração de polissilício até a construção do módulo/painel solar, a manufatura é predominantemente chinesa. A China detém 79,4% da extração global de polissilício e 74,7% da produção mundial de painéis solares acabados. Em 2021, o país foi responsável por 84% de toda a fabricação mundial, o que indica um possível futuro monopólio chinês nesse setor, reforçando, assim, o compromisso do país asiático em implementar essa tecnologia em seu território (IEA, 2023).

**Figura 3:** Potencial fotovoltaico da China



Fonte: [Solargis](https://www.worldbank.org/global-solar-atlas).

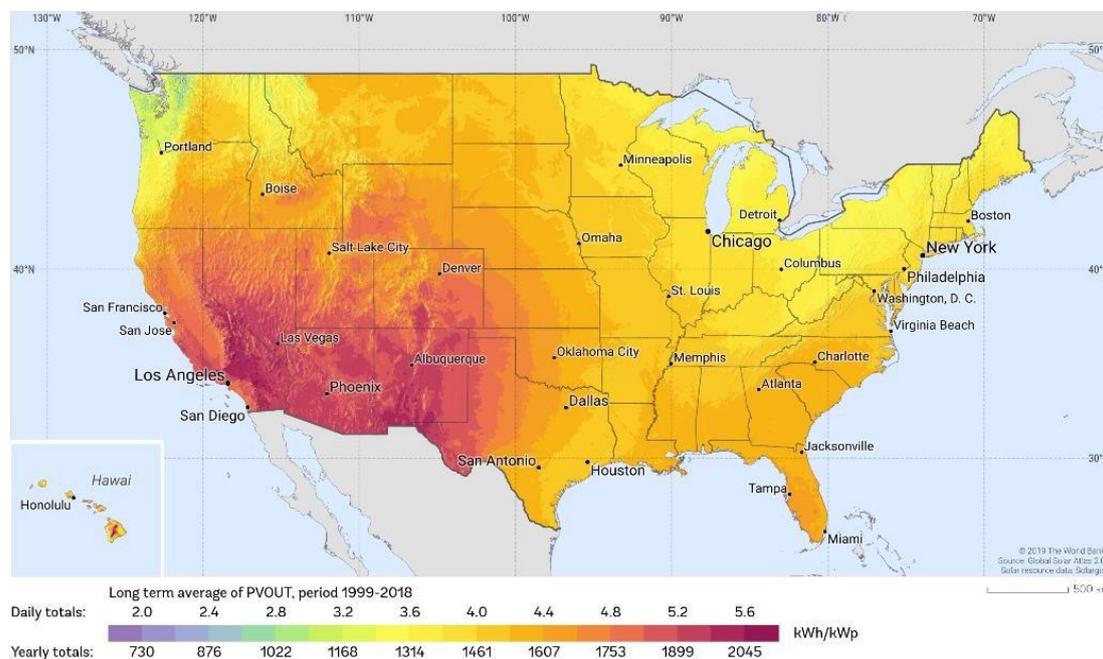
### 3.5.2. Estados Unidos

O país ocupa a segunda posição entre os maiores produtores mundiais e apresenta um potencial fotovoltaico promissor a ser explorado, como ilustrado na Figura 4 (IBP, 2022).

O país possui ambições significativas para o futuro, buscando alcançar 40% de sua matriz energética alimentada por energia solar até o ano de 2030, aumentando esse número para 45% até 2050. Tais objetivos refletem o compromisso em aproveitar plenamente o vasto território e o abundante potencial solar disponível, conforme evidenciado na Figura 4 (IBP, 2022).

Em agosto de 2022, o Governo Federal dos Estados Unidos implementou a Lei de Redução da Inflação: uma legislação que amplia significativamente o apoio à energia renovável nos próximos 10 anos, por meio de incentivos fiscais e outras medidas (IBP, 2022).

**Figura 4:** Potencial fotovoltaico dos EUA



Fonte: [Solargis](https://solargis.com/).

### 3.5.3. Japão

O Japão ocupa a terceira posição entre os países com maior produção de energia elétrica proveniente da fonte solar, com uma capacidade instalada de 74,20 MW, apesar de possuir um território limitado. Esse potencial solar é demonstrado de forma expressiva na Figura 5. Com o objetivo de reduzir as emissões de GEE e diminuir a dependência de importações de combustíveis fósseis, o Japão busca aumentar a participação de energias

renováveis em sua matriz energética (IEA, 2023; IRENA, 2022).

A energia solar tem superado a energia hidrelétrica como a principal fonte de energia renovável no país, uma vez que o potencial hidrelétrico convencional já está praticamente desenvolvido (STATISTA, 2023).

Uma das desvantagens do Japão como nação insular e montanhosa é a disponibilidade limitada de espaço para a instalação de usinas de energia em terra. Por essa razão, o país foi pioneiro no uso de painéis solares flutuantes (STATISTA, 2023).

**Figura 5:** Potencial fotovoltaico do Japão



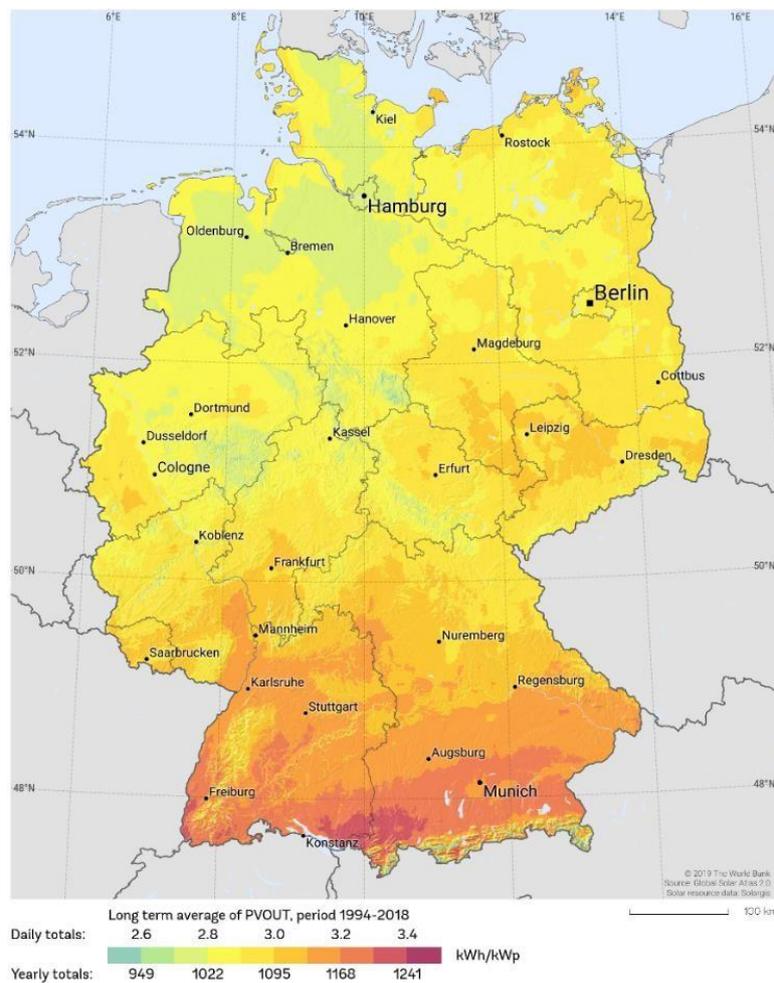
Fonte: [Solargis](https://www.solargis.com/).

### 3.5.4. Alemanha

A Alemanha ocupa a quarta posição entre os países com uma produção fotovoltaica de 58,46 MW (IRENA, 2022). O país tem se empenhado no desenvolvimento

da energia solar por meio do projeto de Lei de Fontes de Energias Renováveis (EEG), cujo objetivo é aumentar a capacidade instalada de sistemas solares para 73 gigawatts até 2024, 83 gigawatts até 2026, 95 gigawatts até 2028 e 100 gigawatts até 2030 (DEUTSCHLAND.DE, 2023). Essas metas ambiciosas contribuirão para alcançar a meta de 55-60% de energia renovável até 2035 e 80% até 2050, maximizando, assim, o aproveitamento do potencial solar disponível, conforme apresentado na Figura 6 (DEUTSCHLAND.DE, 2023; IRENA, 2022).

**Figura 6:** Potencial fotovoltaico da Alemanha



Fonte: [Solargis](https://www.solar.gov.br/).

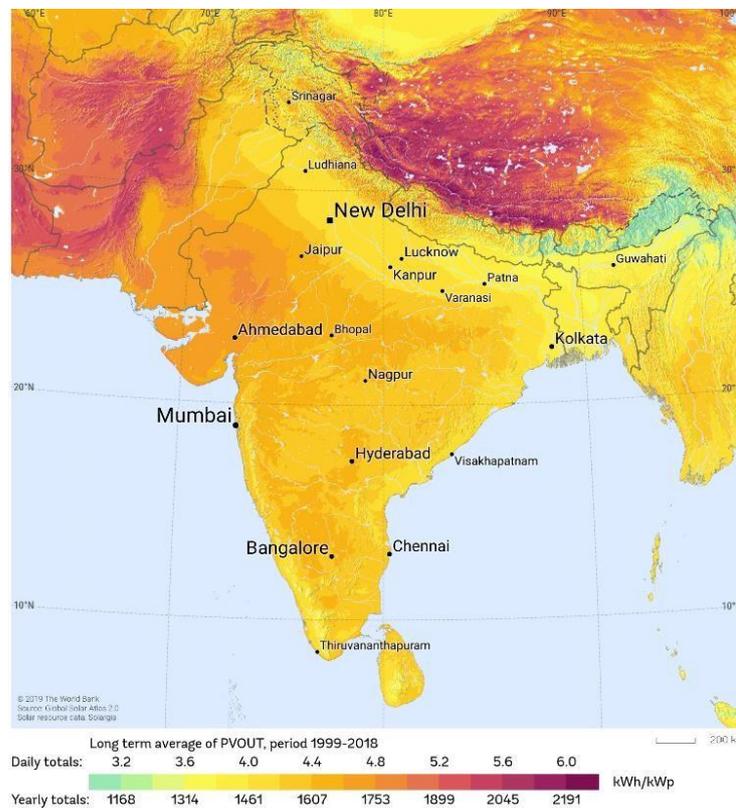
### 3.5.5. Índia

A Índia figura como a próxima maior produtora de energia solar, com uma produção de 49,68 MW (IRENA, 2022). O país é agraciado com um vasto potencial de

energia solar, evidenciado na Figura 7, com cerca de 5.000 trilhões de kWh de irradiação anual incidindo sobre seu território. O Instituto Nacional de Energia Solar avaliou o potencial solar indiano em aproximadamente 748 GW, considerando que 3% das áreas de terreno baldio seriam cobertas por módulos fotovoltaicos solares (STATISTA, 2023).

O Governo indiano criou as Contribuições Nacionalmente Determinadas Pretendidas (INDCs) da Índia, que visam atingir cerca de 40% da capacidade instalada de energia elétrica proveniente de recursos energéticos não fósseis, além de reduzir a intensidade de emissões do PIB em 33 a 35% até 2030, em relação ao nível de 2005 (MNRE, 2022).

**Figura 7:** Potencial fotovoltaico da Índia



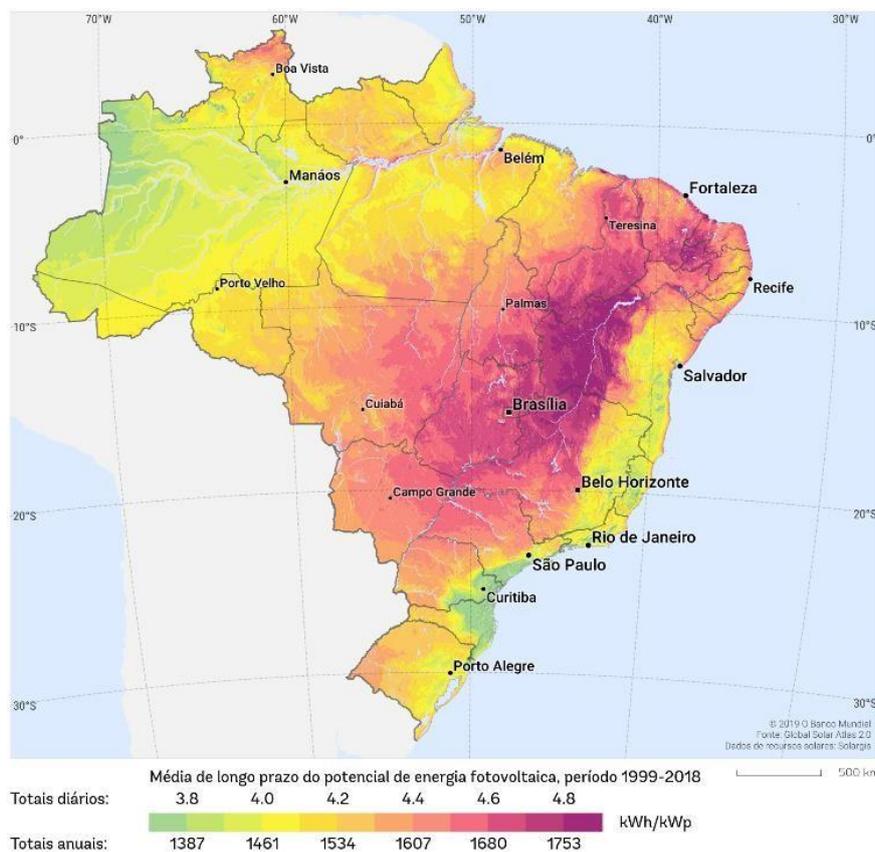
Fonte: Solargis

### 3.5.6. Brasil

O Brasil se destaca como o terceiro maior produtor de energias renováveis do mundo, o oitavo maior produtor do mundo de energia solar e o maior produtor da América

do Sul, com uma capacidade de produção de 24,07 GW (IEA, 2023; IRENA, 2022). O país possui um oneroso potencial solar em todo o seu território, como evidenciado na Figura 8.

**Figura 8:** Potencial fotovoltaico do Brasil



Fonte: [Solargis](#).

Com o objetivo de complementar esses esforços e impulsionar o setor, o Governo Federal lançou o PNE 2050 (EPE, 2020), tendo como objetivo posicionar o Brasil como um dos principais produtores de energia solar e eólica do mundo (PNE, 2020)

### 3.6. Energia Solar no Brasil

A energia solar tem se destacado como a fonte com o maior crescimento anual de capacidade instalada em todo o mundo. Essa tendência de crescimento também se aplica ao Brasil, que, devido à sua localização geográfica, recebe elevados índices de incidência de radiação solar, sendo comparáveis aos de países onde a tecnologia fotovoltaica está mais desenvolvida, como a Alemanha (IRENA, 2022; IEA, 2023).

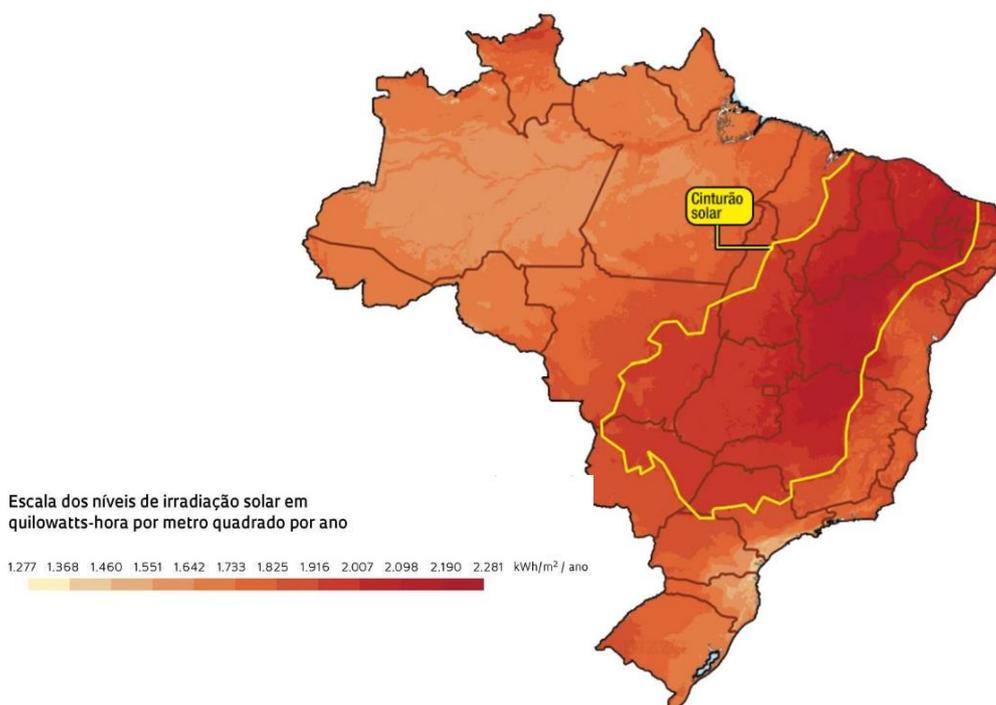
Como exemplo de comparação, mesmo o lugar menos ensolarado no território

brasileiro é capaz de gerar mais eletricidade do que o local mais ensolarado da Alemanha, que é o quarto maior "produtor" mundial (IRENA, 2022; IEA, 2022; IEA, 2023; IEA, 2020).

Aproveitando o potencial de produção brasileiro, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) delineou o "cinturão solar brasileiro", como apresentado na figura 9. De acordo com o estudo, os maiores valores de irradiação solar são encontrados em uma área que se estende do Nordeste do país ao Pantanal, com as melhores taxas de irradiação solar localizadas entre o sertão da Bahia e parte de Minas Gerais, logo denominado pelo cinturão solar brasileiro.

A partir dessas informações, torna-se mais fácil identificar as melhores regiões para a implementação de projetos fotovoltaicos, incentivando o crescimento desse setor no país (PEREIRA, MARTINS, GONÇALVES *et al.*, 2017).

**Figura 9:** Cinturão Solar Brasileiro



**Fonte:** [Atlas Brasileiro de Energia Solar, com valores convertidos por Enio Pereira.](#)

A Figura 9 ilustra os níveis de irradiação solar em quilowatts-hora por metro quadrado por ano, indicando que, quanto mais vermelho o trecho, maior é a quantidade de irradiação solar recebida pela região (PEREIRA, MARTINS, GONÇALVES *et al.*,

2017).

A região amazônica, devido às chuvas e nebulosidade ao longo do ano, é considerada menos atraente para a instalação de parques solares. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), o estado de Minas Gerais lidera em número de sistemas de geração de energia solar no país (PEREIRA, MARTINS, GONÇALVES *et al.*, 2017).

O Rio Grande do Sul, por sua vez, apresenta uma "gangorra solar", com índices de irradiação excelentes durante os meses de verão, mas registrando as menores taxas no inverno (PEREIRA, MARTINS, GONÇALVES *et al.*, 2017).

Aproveitando o vasto potencial solar do país e a isenção de taxas para instalação, que perdurou até janeiro de 2023, a energia solar se consolidou como a segunda maior fonte de energia no Brasil, ultrapassando a energia eólica, com uma produção atual de 23,9 GW. O futuro solar no Brasil indica, com base nos índices, promissoriedade, especialmente com o desenvolvimento de tecnologias adaptadas ao meio urbano, como telhas solares, além de ser uma opção viável para levar energia elétrica limpa a comunidades isoladas e de difícil acesso (IRENA, 2022; IEA, 2023; IEA, 2022; CGEE, 2009).

Além disso, o Brasil possui uma das maiores reservas de silício do mundo, o que o coloca em posição privilegiada para desenvolver uma indústria local de produção de células solares, sendo possível, então, arrolar o Brasil entre os maiores produtores e consumidores de energia solar (IRENA, 2022; IEA, 2023; CGEE, 2009).

### **3.6.1. Estimativa dos Recursos Solares no Brasil**

Ao contrário de outras fontes de energia, a energia solar apresenta seu recurso de forma amplamente distribuída e relativamente homogênea em todo o território nacional. Por meio de estudos conduzidos pelo MME para atualizar o PNE 2050, foi realizada uma estimativa considerando somente as áreas de maior potencial, ou seja, com radiação média diária superior a 6 kWh/m<sup>2</sup>; logo, sendo possível instalar cerca de 307 GW<sub>p</sub> (PNE, 2020). Essa análise demonstra o amplo alcance e a capacidade de aproveitamento da energia solar no país.

### **3.6.2. Perspectivas Tecnológicas no Setor Brasileiro**

A inserção da fonte solar fotovoltaica no planejamento de longo prazo é afetada por um fator que gera incerteza: a velocidade de sua evolução tecnológica. As soluções propostas são rapidamente adotadas pela indústria, e as características dos projetos podem se tornar obsoletas em poucos anos (PNE, 2020).

Um exemplo relevante dessa dinâmica é a transição acelerada dos projetos de estrutura fixa para sistemas de rastreamento em um eixo no mercado brasileiro. Em apenas três anos, houve uma mudança significativa, com a consideração de estrutura fixa caindo de 91% para 3% em projetos de leilões de energia do mercado regulado, enquanto o uso de sistemas de rastreamento em um eixo subiu para 97% (PNE, 2020).

Além disso, há perspectivas de novos materiais a substituir os tradicionais módulos de silício cristalino. No início do século XXI, houve um aumento na participação de mercado dos módulos de filmes finos da chamada segunda geração, como silício amorfo e telureto de cádmio, mas, atualmente, apenas os módulos de telureto de cádmio mantêm sua competitividade (PNE, 2020).

Os avanços na tecnologia dos módulos fotovoltaicos também são constantes. Os módulos aumentaram de tamanho padrão nos últimos anos, passando de cerca de 1,6 m<sup>2</sup> para 2 m<sup>2</sup>, com aumento no número de células e propostas de novas configurações, incluindo o uso de células cortadas ao meio e a adoção de módulos bifaciais, em que a face posterior do painel também é utilizada para captar radiação, aumentando a eficiência em até 50% em relação aos módulos convencionais (EPRI, 2016).

Esses avanços tecnológicos podem levar a uma diminuição na demanda de área para a implantação de usinas solares, contribuindo para reduzir os impactos ambientais relacionados às mudanças no uso da terra, causadas pela instalação de novas usinas (EPRI, 2016).

Outras alternativas tecnológicas também estão sendo desenvolvidas, como o uso de robôs especializados para limpeza e métodos automatizados de limpeza que reduzem a demanda de água necessária para limpar os painéis fotovoltaicos (EPRI, 2016), pois os métodos tradicionais de limpeza, além de pouco eficientes, consomem grande quantidade

de água, o que pode ser inviável em ambientes áridos ou com escassez de água (FAN, LIANG, WANG *et al.*, 2022; DERAKHSHANDEH, ALLUQMAN, MOHAMMAD *et al.*, 2021).

### **3.6.3. Principais desafios para o Setor Brasileiro**

Preparar-se para uma matriz energética com uma grande parcela de geração variável e não controlável é um desafio que o mundo enfrentará no século XXI, devido à crescente utilização das fontes solares fotovoltaicas e eólicas. As fontes renováveis introduzem maior variabilidade e menor previsibilidade na geração elétrica de curto prazo (PNE, 2020).

O Brasil também enfrentará o desafio de ter uma matriz renovável e não controlável, pois terá de otimizar a operação de sua matriz existente, que é predominantemente hidrelétrica, e realizar novos investimentos para garantir o suprimento adequado de energia, garantindo a neutralidade tecnológica na expansão necessária (PNE, 2020).

Outro aspecto importante a ser considerado é o tratamento do descarte e reciclagem dos equipamentos de energia solar. O crescimento da tecnologia fotovoltaica é relativamente recente, e ainda é necessário resolver a questão do tratamento dos equipamentos que não são mais úteis para a produção de energia. Embora a vida útil dos módulos fotovoltaicos seja declarada pelos fabricantes como sendo de 25 anos, na prática, a potência desses equipamentos pode permanecer acima de 80% do valor nominal por mais tempo. Independentemente do momento em que ocorre o descarte, o grande volume de equipamentos torna o impacto ambiental relevante (PNE, 2020).

## **Conclusão**

Neste trabalho, realizou-se um estudo abrangente das fontes energéticas atuais, incluindo seus desafios e a magnitude de sua produção global. Além disso, investigaram-se minuciosamente os planos energéticos do Brasil, Estados Unidos e União Europeia, revelando suas particularidades, desafios e metas em curto, médio e longo prazo. No último capítulo, foi traçado um panorama abrangente da energia solar em escala global, explorando características técnicas, como o funcionamento das células solares e as

diversas eficiências nas cinco principais áreas de tecnologia de materiais.

A adoção das fontes de energia renovável já não é uma visão futurista, mas sim uma realidade presente. O cenário global está impactado pelas emissões de gases de efeito estufa, pelos avanços tecnológicos e pelos investimentos em fontes renováveis, tanto em áreas urbanas quanto rurais. Além disso, há uma crescente conscientização sobre a necessidade de reduzir o consumo e a produção de itens não recicláveis. Todos esses elementos convergem para a urgência de preservar um planeta saudável nas próximas décadas.

Os planos energéticos se erguem como instrumentos indispensáveis e eficazes na condução de um avanço energético sustentável, acompanhado pela redução das emissões de gases de efeito estufa. No contexto dos três planos energéticos analisados, o plano brasileiro se destaca por sua abrangência, metas definidas e estratégias específicas para o fomento do crescimento tecnológico e a implementação de fontes renováveis e não renováveis. Destaca-se também por contemplar, por meio de análises, a pertinência do uso contínuo das fontes não renováveis, bem como por dividir sua trajetória em duas direções possíveis: desenvolvimento e estagnação. Ambas direcionadas a um mesmo propósito, divergindo apenas no ritmo de realização. O PNE 2050, como parte integrante do panorama energético brasileiro, surge como um recurso útil para orientar não só o governo atual, mas também futuros governantes, mostrando o caminho para concretizar as metas propostas e explorar os recursos naturais do país, impulsionando uma matriz elétrica e energética plenamente sustentável.

A energia solar desempenha um papel de destaque na transição energética global. Embora enfrente desafios, como a flutuação da intensidade solar, armazenamento eficiente, custos iniciais ainda proeminentes e eficiência limitada, a energia solar mantém-se entre as fontes mais promissoras, sendo, além disso, amplamente disseminada em todo o globo. Apesar das limitações, o rápido crescimento da energia solar a coloca na vanguarda das fontes renováveis, exigindo, no entanto, uma ação concreta e uma implementação vigorosa a fim de reduzir os níveis de emissões de gases na atmosfera.

Portanto, é fato que o mundo ainda não alcançou plenamente as metas propostas em níveis nacionais e internacionais, tanto que apenas a energia solar está conseguindo aumentar a sua capacidade produtiva em relação aos anos anteriores, ao passo que a

energia eólica está no segundo ano de queda de aumento de capacidade em relação aos anos anteriores.

Nesse cenário, os planos energéticos, embora valorosos, necessitam de uma aplicação eficaz e rápida para ir além da esfera das políticas, promessas e acordo feitos em convenções. As fontes renováveis, apesar de não serem isentas de impactos, representam a trilha indispensável para enfrentar as mudanças climáticas e assegurar um futuro sustentável. Dentre elas, a energia solar emerge como uma solução crucial, com um crescimento acentuado em comparação a outras fontes renováveis. Entretanto, o desafio persiste e exige ação imediata e contínua. Não basta apenas possuir o potencial; é necessário transformá-lo em ações objetivas para, efetivamente, reduzir as emissões de gases na atmosfera e preservar o nosso planeta.

## Referências

AHMADI, M. H., GHAZVINI, M., SADEGHZADEH, M., ALHUYI NAZARI, M., KUMAR, R., NAEIMI, A., & MING, T., **Solar power technology for electricity generation: A critical review**. Energy Science and Engineering, 6(5), 340–361. <https://doi.org/10.1002/ese3.239>.

AL-EZZI, A.S. ANSARI, M.N.M. **Photovoltaic Solar Cells: A Review**. Appl. Syst. Innov. 2022, 5, 67. <https://doi.org/10.3390/asi5040067>

BABIN, Alexandre; VANEECKHAUTE, Céline; ILIUTA, Maria C., **Potential and challenges of bioenergy with carbon capture and storage as a carbon-negative energy source: A review**. Biomass and Bioenergy, v. 146, p. 105968, 1 mar. 2021. DOI <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2021.105968>

BARBIER, Enrico. **Geothermal energy technology and current status: An overview**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6(1–2), 3–65. [https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00002-3)

BHATIA, S.C. **1 - Energy resources and their utilization**. Advanced Renewable Energy Systems. Woodhead Publishing India. 2014. Pages 1-31. ISBN 9781782422693. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-269-3.50001-2> .

BOGGIAN, L. C. De C.; RIBEIRO, L. F.; VITAL, A. V. .; DUTRA E SILVA, S. . **A imprensa brasileira e a temática energética renovável: dados documentais em periódicos nacionais sobre a energia fotovoltaica (1970-2009)**. Revista Notas Históricas y Geográficas, p. 238–262, 2021. Disponível em: <https://www.revistanotashistoricasygeograficas.cl/index.php/nhyg/article/view/400>.

CARBON Trust. **Results of the Marine Energy Challenge: Cost competitiveness and growth of wave and tidal Stream Energy**. 2006. Disponível em: <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/thomas2/docs/futuremarineenergy.pdf>.

Acesso em 26 de junho de 2023.

CEPEL. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro: Simulações 2013**. CEPEL, INPE, FINEP, 2013. Disponível em: <https://energiasolarfotovoltaica.ufsc.br/atlas-do-potencial-eolico-brasileiro/> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

CGEE. **Produção de Silício Grau Solar no Brasil: Nota Técnica - Estudo Prospectivo em Energia Fotovoltaica**. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. 2009. Disponível em: [https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Produ%C3%A7%C3%A3o+de+sil%C3%ADcio+grau+solar+no+Brasil\\_Nota+T%C3%A9cnica+CGEE\\_13\\_5304.pdf/838757da-f731-4520-8f0d-5016fad66f19?version=1.0](https://www.cgee.org.br/documents/10195/734063/Produ%C3%A7%C3%A3o+de+sil%C3%ADcio+grau+solar+no+Brasil_Nota+T%C3%A9cnica+CGEE_13_5304.pdf/838757da-f731-4520-8f0d-5016fad66f19?version=1.0) Acesso em 6 de agosto de 2023.

CHENG Ming. ZHU Ying. **The state of the art of wind energy conversion systems and technologies: A review**. Energy Conversion and Management, Volume 88, 2014, Pages 332-347, ISSN 0196-8904, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.037>.

CHOPRA K. L., PAULSON P. D., DUTTA V. **Thin-film solar cells: an overview**. 2004. Progress in Photovoltaics. <https://doi.org/10.1002/pip.541>

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. **Reator Multipropósito Brasileiro**. Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

COUTO, Thiago BA; OLDEN, Julian D. **Global proliferation of small hydropower plants – science and policy**. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 16, ed. 2, p. 91-100, 1 jan. 2018. DOI <https://doi.org/10.1002/fee.1746> .

CUI, Y., YAO, H., ZHANG, J., XIAN, K., ZHANG, T., HONG, L., WANG, Y., XU, Y., MA, K., AN, C., HE, C., WEI, Z., GAO, F., HOU, J., **Single-Junction Organic**

**Photovoltaic Cells with Approaching 18% Efficiency.** Adv. Mater. 2020, 32, 1908205.  
<https://doi.org/10.1002/adma.201908205>

DE CAMP, L. Sprague. **The Ancient Engineers: An Astonishing Look Back at the Ancient Wonders of the World and Their Creators.** 1. ed. Ballantine Books, 1995. 480 p. ISBN 0345482875.

DEPARTMENT OF ENERGY. **Grand Challenges to Close the Gaps in Offshore Wind Energy Research.** Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. . 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/articles/grand-challenges-close-gaps-offshore-wind-energy-research> . Acesso em 29 de junho de 2023.

DEPARTMENT OF ENERGY. **How Do Wind Turbines Work?** Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. 2019. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/how-do-wind-turbines-work> . Acesso em 29 de junho de 2023.

DEUTSCHLAND.DE. **Expansão das energias renováveis na Alemanha.** 2023. Deutschland.de. Disponível em: <https://www.deutschland.de/pt-br/topic/meio-ambiente/transicao-energetica-seis-perguntas-sobre-a-expansao-das-energias-renovaveis> Acesso em 6 de agosto de 2023.

DIXON, Robert K.; MCGOWAN, Elizabeth; ONYSKO, Ganna. **US energy conservation and efficiency policies: Challenges and opportunities.** Energy Policy, v. 38, ed. 11, p. 6398- 6408, 1 nov. 2010. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.01.038> .

DOE. **Clean Energy.** Energy Department of United States, 2021. Disponível em: <https://www.energy.gov/clean-energy> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

DOE. **Energy Saver 101 History Timeline: Geothermal Energy.** U.S Department of Energy. 2023. Disponível em: <https://www.energy.gov/energysaver/energy-saver-101-history-timeline-geothermal-energy#:~:text=1901%20%2D%201950-.1904,steam%20field%20in%20Tuscany%2C%20Italy> . Acesso em: 27 de junho 2023.

DOE. **Philippines.** Department of Energy - Republic of Philippines, 1 jan. 2015. Disponível em: <https://www.doe.gov.ph/energy-statistics?q=energy-resources/powermix> . Acesso em 27 de junho de 2023.

EERE. **Analysis - Renewable Energy Resource Assessment Information for the United States**. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, 2022.

Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/analysis/renewable-energy-resource-assessment-information-united-states> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

EERE. **Energy Efficiency & Renewable Energy**. 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-technologies-office> . Acesso em: 30 de agosto de 2023.

EERE. **Geothermal Basics**. U.S. Geothermal Technologies Office, 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/geothermal/geothermal-basics> . Acesso em: 2 fev. 2023.

EERE. **U.S wind Vision**. U.S Wind Energy Technologies Office, 2022. Disponível em: <https://www.energy.gov/eere/wind/wind-vision> . Acesso em: 2 fev. 2023.

EIA. **Monthly Energy Review**. U.S Energy Information Administration, 2023. Disponível em: <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/mer.pdf> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

EIA. **Photovoltaics and Electricity**. EIA. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/solar/photovoltaics-and-electricity.php> Acesso 09 de agosto de 2023.

EIA. **Biomass explained**. U.S Energy Information Administration, 2 jun. 2022. Disponível em: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/#:~:text=Biomass%20is%20renewable%20organic%20material,consumption%20until%20the%20mid%2D1800s>. Acesso em 29 de junho de 2023.

ELETROBRAS ELETRONUCLEAR. **Energia Limpa**. Eletrobras Nuclear, 2022. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub/>. Acesso em 6 de agosto de 2023.

EMEC. **Marine Energy**. The Europe Marine Energy Centre. 2015. Disponível em: <https://www.emec.org.uk/marine-energy/> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

ENERGY FOR GROWTH HUB. **Energy-poor countries face a special challenge: vertical energy transitions**. Energy for Growth Hub. 2022. Disponível em: <https://energyforgrowth.org/article/energy-poor-countries-face-a-special-challenge-vertical-energy-transitions/> Acesso em 22 de agosto de 2023.

EPE. **Fontes de Energia**. Empresa de Pesquisa Energética, 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/fontes-de-energia> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

EPE. **Plano Nacional de Energia - 2030**. Empresa de Pesquisa Energética, 2007. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-PNE-2030> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

EPE. **Plano Nacional de Energia - 2050**. Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

EPRI. **Bifacial Solar Photovoltaic Modules**. Electric Power Research Institute. 2016. Disponível em: <https://www.epri.com/research/products/3002009163> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

EU. **Home**. European Union. Disponível em: [https://european-union.europa.eu/index\\_en](https://european-union.europa.eu/index_en) Acesso em 21 de dezembro de 2022.

EUR-LEX. **Diretiva (ue) 2018/2001 do Parlamento Europeu e do Conselho, de 11 de dezembro de 2018, relativa à promoção da utilização de energia de fontes renováveis (reformulação) (Texto relevante para efeitos do EEE.)**. EUR-Lex, 2018. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:32018L2001> . Acesso em 21 de dezembro de 2022.

EUR-LEX. **Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE (Texto relevante para efeitos do EEE) Texto relevante para efeitos do EEE**. EUR-Lex, 2021. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A02012L0027-20210101> . Acesso em 21 de dezembro de 2022.

EUR-LEX. **Diretiva 2012/27/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de outubro de 2012, relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE (Texto**

**relevante para efeitos do EEE) Texto relevante para efeitos do EEE.** EUR-Lex, 2012. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A02012L0027-20210101> . Acesso em 21 de dezembro de 2022.

EUR-LEX. **Energia azul materializar o potencial da energia oceânica nos mares e oceanos da Europa no horizonte de 2020 e mais além.** EUR-Lex, 2014. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=COM:2014:0008:FIN> . Acesso em: 2 fevereiro de 2023.

EUR-LEX. **Estratégia da UE para aproveitar o potencial de energia de fontes renováveis ao largo com vista a um futuro climaticamente neutro.** EUR-Lex, 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX:52020DC0741> . Acesso em: 2 fevereiro de 2023.

EUR-LEX. **Estratégia do Hidrogênio para uma Europa com Impacto Neutro no Clima.** EUR-Lex, 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/?uri=CELEX%3A52020DC0301> . Acesso em: 2 fevereiro de 2023.

EUR-LEX. **Potenciar uma Economia com Impacto Neutro no Clima: Estratégia da UE para a Integração do Sistema Energético.** EUR-Lex, 2020. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/ALL/?uri=COM:2020:299:FIN> . Acesso em: 2 fevereiro de 2023.

EURO-LEX. **Eurostat: The home of high-quality statistics and data on Europe.** EUR-Lex, 2023. Disponível em: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/main/home> . Acesso em: 2 fevereiro de 2023.

EUROPARL. **Energy efficiency.** Fact Sheets on the European Union, 2020. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/en/sheet/69/energy-efficiency> . Acesso em 21 de dezembro de 2022.

Euro-Parl. **Política Energética: princípios gerais.** Fact Sheets on the European Union, 2020. Disponível em: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/pt/sheet/68/politica-energetica-principios-gerais> . Acesso em 21 de dezembro de 2022.

FRANCE ENERGIES MARINES. **Waves**. 2023. Disponível em: <https://www.france-energies-marines.org/en/meteorology-and-oceanography/waves/> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

GREEN, M A. DUNLOP, E D. YOSHITA, M, et al. **Solar cell efficiency tables (version 62)**. Prog Photovolt Res Appl. 2023; 31(7): 651-663. <https://doi.org/10.1002/pip.3726>

GUO, M., SONG, W., & BUHAIN, J. **Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 42, 712–725. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.013>.

HONG Ling, YAO Huifeng, CUI Yong, GE Ziyi, HOU Jianhui. **Recent advances in high-efficiency organic solar cells fabricated by eco-compatible solvents at relatively large-area scale**. APL Mater 1 December 2020; 8 (12): 120901. <https://doi.org/10.1063/5.0027948>

HUSSAINA, Akhtar; ARIF, Syed Muhammad; ASLAM, Muhammad. **Emerging renewable and sustainable energy technologies: State of the art**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 71, p. 12-28, 1 maio 2017. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.033> .

HYDROGREN INSIGHT. **Top 10 countries by green hydrogen production (cumulative capacity), 2023-30**. 2023 Disponível em: <https://www.hydrogeninsight.com/production/exclusive-which-ten-countries-will-be-the-biggest-producers-of-green-hydrogen-in-2030-/2-1-1405571> Acesso em 22 de agosto de 2023.

IBP. **Implicações da Lei de Redução da Inflação nos Estados Unidos**. IBP. 2022. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/analises/implicacoes-da-lei-da-reducao-da-inflacao-nos-estados-unidos/#:~:text=A%20Lei%20de%20Redu%C3%A7%C3%A3o%20da,risco%20a%20seguran%C3%A7a%20energ%C3%A9tica%20global>. Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA BIOENERGY. **Bioenergy, a sustainable solution**. IEA Bioenergy. 2020. Disponível em: <https://www.ieabioenergy.com/bioenergy-a-sustainable-solution/> . Acesso em 26 de junho de 2023.

IEA. **Bioenergy**. International Energy Agency. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/bioenergy> Acesso em 29 de junho de 2023.

IEA. **Bioenergy: Bioenergy accounts for roughly one-tenth of world total primary energy supply today**. International Energy Agency, 9 dez. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/bioenergy> . Acesso em: 25 de junho de 2023.

IEA. **Brazil aims to make a global impact on clean energy innovation**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/commentaries/brazil-aims-to-make-a-global-impact-on-clean-energy-innovation> Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA. **Brazil Key energy statistics, 2020**. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/brazil> Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA. **Brazil solar PV capacity additions 2017-2022 and average annual additions 2023-2025**. 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/brazil-solar-pv-capacity-additions-2017-2022-and-average-annual-additions-2023-2025> Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA. **Energy Statistics Data Browser**. IEA. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/energy-statistics-data-browser?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=TESbySource> Acesso em 22 de agosto de 2023.

IEA. **India Energy Outlook 2021**. IEA, Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/india-energy-outlook-2021>.. Acesso em 28 de junho de 2023.

IEA. **Indonesia**. International Energy Agency. Disponível em: <https://www.iea.org/countries/indonesia#data-browser>. Acesso em 27 junho de 2023.

IEA. **Net Zero by 2050: A Roadmap for the Global Energy Sector**. International Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA. **Norway 2022**. International Energy Agency. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/norway-2022>. Acesso em 28 de junho de 2023.

IEA. **Renewable Energy Essentials: Geothermal**. IEA. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-essentials-geothermal> . Acesso em 27 de

junho de 2023

IEA. **Renewable Energy Market Update**. International Energy Agency. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-market-update-june-2023> Acesso em 19 junho de 2023.

IEA. Share of cumulative power capacity by technology, 2010-2027. IEA. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-cumulative-power-capacity-by-technology-2010-2027> Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA. **Solar P**. International Energy Agency. Paris. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/solar-pv>. Acesso em 28 de junho de 2023.

IEA. Solar PV Overview. IEA. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv#overview> Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA. Solar PV. IEA. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/energy-system/renewables/solar-pv>. Acesso em 08 de dezembro de 2022.

IEA. **Southeast Asia Energy Outlook**. International Energy Agency. 2019. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/southeast-asia-energy-outlook-2019>, License: CC BY 4.0. Acesso em: 26 de junho de 2023.

IEA. Tracking Clean Energy Progress. IEA, 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/tracking-clean-energy-progress-2023> Acesso em 6 de agosto de 2023.

IEA. **Wind Electricity**. International Energy Agency, Paris. 2022. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/wind-electricity> . Acesso em 28 de junho de 2023.

IEA. **World Energy Outlook 2022**. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>. Acesso em 25 de junho de 2023.

IGA. **Geothermal quick guide: Explore the Treasure under your Feet**. International Geothermal Association. 2018. Disponível em: <https://www.lovegeothermal.org/explore/what-is-geothermal/> /. Acesso em 27 de junho de 2023.

IGNACIO, Luís Henrique da Silva; SANTOS, Pedro Eduardo de Almeida; DUARTE, Carlos Antonio Ribeiro. **An experimental assessment of Eucalyptus urosemante**

**energy potential for biomass production in Brazil.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 103, p. 361-369, 1 abr. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.053>

IHA. **Hydropower Status Report 2022: Sector trends and insights.** International Hydropower Association. 2022. Disponível em: <https://www.hydropower.org/publications/2022-hydropower-status-report>. Acesso em: 25 de junho de 2023.

INFOMONEY. **Energia solar atinge 23,9 GW, passa eólica e se torna 2ª maior fonte do Brasil.** InfoMoney. 2023. Disponível em: <https://www.infomoney.com.br/consumo/energia-solar-atinge-239-gw-passa-eolica-e-se-torna-2a-maior-fonte-do-brasil-diz-absolar/>. Acesso em 6 de agosto de 2023.

IPCC. Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. The Intergovernmental Panel on Climate Change. 2011. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/renewable-energy-sources-and-climate-change-mitigation/> Acesso em 21 de agosto de 2023.

IRENA, CPI. **Global landscape of renewable energy finance.** 2023. International Renewable Energy Agency – IRENA. Abu Dhabi. Disponível em: [https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Feb/IRENA\\_CP\\_I\\_Global\\_RE\\_finance\\_2023.pdf?rev=8668440314f34e588647d3994d94a785](https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn.endpoint.azureedge.net//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Feb/IRENA_CP_I_Global_RE_finance_2023.pdf?rev=8668440314f34e588647d3994d94a785). Acesso em: 27 de junho de 2023.

IRENA, IGA. **Global geothermal market and technology assessment.** International Renewable Energy Agency. International Geothermal Association, The Hague. Acesso em 27 de junho de 2023

IRENA, ILO. **Renewable Energy and Jobs: Annual review 2022.** International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi and International Labour Organization, Geneva. 2022. ISBN: 978-92-9260-364-9.

IRENA, OEE. **Scaling up investments in ocean energy technologies.** International Renewable Energy Agency. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/Scaling-up-investments-in-ocean-energy-technologies>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

IRENA. **Hydropower**. IRENA. 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Hydropower> Acesso em 29 de junho de 2023.

IRENA. **Innovation outlook: Ocean energy technologies**. International Renewable Energy Agency. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2020/Dec/Innovation-Outlook-Ocean-Energy-Technologies>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

IRENA. **Ocean energy**. International Renewable Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Ocean-energy>. Acesso em 6 de agosto de 2023.

IRENA. **Renewable capacity statistics**. International Renewable Energy Agency, 2023. Disponível em: [https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2023.pdf?rev=d2949151ee6a4625b65c82881403c2a7](https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Mar/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2023.pdf?rev=d2949151ee6a4625b65c82881403c2a7) Acesso em 28 de junho de 2023.

IRENA. **Renewable Energy Outlook: Thailand**. International Renewable Energy Agency. 2017. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2017/Nov/Renewable-Energy-Outlook-Thailand> Acesso em: 26 de junho de 2023.

IRENA. **Renewables**. International Energy Agency. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/renewables> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

IRENA. **Solar Energy Overview**. Irena. 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy> Acesso em 6 de agosto de 2023.

IRENA. **Solar Energy**. IRENA. 2019. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Solar-energy> . Acesso em 08 de dezembro de 2022.

IRENA. **The changing role of hydropower: Challenges and opportunities**. International Renewable Energy Agency. 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Feb/The-changing-role-of-hydropower-Challenges-and-opportunities> Acesso em 29 de junho de 2023.

IRENA. **Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026**. International Renewable Energy Agency, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy> . Acesso em: 25 nov. 2022.

IRENA. **Wind Energy**. IRENA. 2023. <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Wind-energy> Acesso em 29 de junho de 2023.

IRENA. **World Energy Transitions Outlook 2023: 1.5°C Pathway**. IRENA. Volume 1, Abu Dhabi. 2022. Disponível em: <https://www.irena.org/Publications/2023/Jun/World-Energy-Transitions-Outlook-2023> . Acesso em 23 de março de 2023.

IRENA. **Geothermal**. International Renewable Energy Agency, 31 maio 2020. Disponível em: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Technology/Geothermal-energy> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

IRENA. **Statistics Time Series**. International Renewable Energy Agency, 25 mar. 2023. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Statistics-Time-Series> . Acesso em 29 de junho de 2023.

ISLAM, M.M., HASANUZZAMAN, M. **Chapter 1 - Introduction to energy and sustainable development**. Energy for Sustainable Development, Academic Press, 2020, Pages 1-18, ISBN 9780128146453, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814645-3.00001-8>.

JACOBSON, M. **Onshore and Offshore Wind Energy**. In **No Miracles Needed: How Today's Technology Can Save Our Climate and Clean Our Air**. 2023, p. 233-260. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009249553.013>

JACOBSON, M. **Photovoltaics and Solar Radiation**. In **No Miracles Needed: How Today's Technology Can Save Our Climate and Clean Our Air**. 2023, p. 214-232. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009249553.012>

JACOBSON, M. **What Problems Are We Trying to Solve?** In **No Miracles Needed: How Today's Technology Can Save Our Climate and Clean Our Air**. 2023. p. 1-19. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009249553.003>

KHAN Muhammad Imran, ASFAND Faisal, AL-GHAMDI Sami G. **Progress in**

**research and technological advancements of thermal energy storage systems for concentrated solar power.** Journal of Energy Storage, Volume 55, Part D, 2022, 105860, <https://doi.org/10.1016/j.est.2022.105860>.

KIOST. **Functions & History.** Korea Institute of Ocean Science & Technology, 2019. Disponível em: [https://www.kiost.ac.kr/eng/sub01\\_02.do](https://www.kiost.ac.kr/eng/sub01_02.do) . Acesso em: 30 jun. 2023.

KOUGIAS, I., AGGIDIS, G., AVELLAN, F., DENIZ, S., LUNDIN, U., Moro, A., MUNTEAN, S., NOVARA, D., PÉREZ-DÍAZ, J. I., QUARANTA, E., SCHILD, P., & THEODOSSIOU, N. **Analysis of emerging technologies in the hydropower sector.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, 113. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109257>

LUCENA, Juliana de Almeida Yanaguizawa. **Chapter 5 - Recent advances and technology trends of wind turbines.** Recent Advances in Renewable Energy Technologies, Academic Press, 2021, Pages 177-210, ISBN 9780323910934, <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91093-4.00009-3>.

LUND, J. W., & BOYD, T. L. **Direct utilization of Geothermal Energy: 2015 worldwide review.** 2016. Geothermics, 60, 66-93, <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2015.11.004>.

MARINE RENEWABLES CANADA. **Wave Energy.** 2018. Disponível em: <https://marinerenewables.ca/> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

MARINHA DO BRASIL. **Programa de Submarinos.** Ministério da Defesa - Marinha, 2021. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/prosub> Acesso em 6 de agosto de 2023.

MEINEL, A. B.; MEINEL, M. P. **Applied solar energy. An introduction.** 1. ed. Related Information: Addison-Wesley Series in Physics, 1976. ISBN 7338398.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balanco Energético Nacional 2023.** EPE. 2023. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes> . Acesso em 29 de junho de 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Potencial dos Recursos Energéticos no Horizonte 2050: NOTA TÉCNICA PR 04/18.** EPE. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/spe/publicacoes/plano-nacional-de->

[energia/plano-nacional-de-energia-2050/recursos-energeticos/potencial-de-recursos-energeticos-no-horizonte-2050-nt-pr-04-18.pdf/view](https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes) . Acesso em 29 de junho de 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Expansão da Geração: Fontes**. Empresa de Pesquisa Energética. 2022. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes> . Acesso em 29 de junho de 2023.

MNRE. **Solar Energy Overview**. Ministry of New and Renewable Energy. 2022. Disponível em: <https://mnre.gov.in/solar/current-status/> Acesso em 6 de agosto de 2023.

MUSULE, R., BONALES-REVUELTA, J., MWAMPAMBA, T. H., GALLARDO-ALVAREZ, R. M., MASERA, O., & GARCÍA, C. A. **Life Cycle Assessment of Forest-Derived Solid Biofuels: A Systematic Review of the Literature**. *Bioenergy Research*, 15(4), 1711–1732. <https://doi.org/10.1007/s12155-021-10346-5>

NATHAN G.J., LEE Leok, INGENHOVEN Philip, TIAN Zhao, SUN Zhiwei, CHINNICI Alfonso, JAFARIAN Mehdi, ASHMAN Peter, POTTER Daniel, SAW Woei. **Pathways to the use of concentrated solar heat for high temperature industrial processes**.

NIGAM, P. S., & SINGH, A. **Production of liquid biofuels from renewable resources**. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(1), 52–68. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2010.01.003>

NREL. **Interactive Best Research-Cell Efficiency Chart**. NREL. Disponível em: <https://www.nrel.gov/pv/interactive-cell-efficiency.html> Acesso em 10 de agosto de 2023.

ONU BRAZIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. United Nations Brazil, 2021. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

OSMAN, A. I., CHEN, L., YANG, M., MSIGWA, G., FARGHALI, M., FAWZY, S., ROONEY, D. W., & YAP, P.-S. **Cost, environmental impact, and resilience of renewable energy under a changing climate: a review**. *Environmental Chemistry Letters*, 21(2), 741–764. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01532-8>.

PELC, Robin. FUJITA, Rod M. **Renewable energy from the ocean**. *Marine Policy*. Volume 26, Issue 6, 2002, Pages 471-479, ISSN 0308-597X, [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(02\)00045-3](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(02)00045-3) .

PEREIRA, Geraldo Magela; GAMBETTI, Delfino L. G. **História das Usinas Hidrelétricas**. 17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental. 2021. Disponível em: [https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1\\_215.pdf](https://schenautomacao.com.br/cbge2022/envio/files/trabalho1_215.pdf).

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; GONÇALVES, André Rodrigues. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2. ed. São José dos Campos - São Paulo - Brasil: Brasil Energia, 2017. 80 p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>

PÖRTNER, Hans-Otto; ROBERTS, Debra C., TIGNOR, Melinda M.B *et al.* **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/> Acesso em 30 de agosto de 2023.

RAZYKOV, T.M.; FERKIDES, C.S.; MOREL, D.; **Solar photovoltaic electricity: Current status and future prospects**. Solar Energy, v. 85, n. 8, p. 1580-1608, 2011. DOI <https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.12.002>

REN21. **Renewables 2023 Global Status Report collection**. 2023. Disponível em: <https://www.ren21.net/gsr-2023/>. Acesso em: 26 de junho de 2023.

RENEWABLE UK. **Wave & Tidal Energy**. 2018. Disponível em: <https://www.renewableuk.com/page/WaveTidalEnergy> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

SAMPAIO, João Alves; AMADO, Roberto Salgado; MARQUES, Péricles Sávio Garcia. **Silício Grau Solar - Uma Revisão das Tecnologias de Produção**. Centro de Tecnologia Mineral, 2019

SANDALOW, DAVID. MEIDAN, MICHAL. ANDREWS-SPEED, PHILIP *et al.* **Guide to Chinese Climate Policy 2022**. The Oxford Institute for Energy Studies. 2022. Disponível em: <https://chineseclimatepolicy.energypolicy.columbia.edu/> Acesso em 6 de agosto de 2023.

SENADO FEDERAL. **Projeto de Lei nº 576, de 2021**. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/146793> Acesso em 30 de agosto de 2023.

SETIAWAN Hadi. **Geothermal Energy Development in Indonesia: Progress,**

**Challenges and Prospect.** International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology, Vol. 4 (2014) No. 4, pages: 224-229, DOI:10.18517/ijaseit.4.4.405.

SHIMIZU K., MASUTA T., OTA Y. and YOKOYAMA A. **Load Frequency Control in power system using Vehicle-to-Grid system considering the customer convenience of Electric Vehicles.** 2010 International Conference on Power System Technology, Zhejiang, China, 2010, pp. 1-8, <https://doi.org/10.1109/POWERCON.2010.5666064>.

SINGER, Charles; WILLIAMS, Trevor I.; HOLMYARD, E. J. **A History of Technology.** 1. ed. OXFORD UNIVERSITY PRESS, 1954.

SINTEF OCEAN. **Wave energy.** SINTEF OCEAN, 23 jun. 2023. Disponível em: <https://www.sintef.no/en/ocean/> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

Solar Compass, Volume 5, 2023, 100036, <https://doi.org/10.1016/j.solcom.2023.100036>.

SØRENSEN, Bent. **A history of renewable energy technology.** Energy Policy, v. 19, n. 1, p. 8-12, 1991. DOI [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(91\)90072-V](https://doi.org/10.1016/0301-4215(91)90072-V)

SØRENSEN, Bent. **Renewable energy: A technical overview.** Energy Policy, v. 19, n. 4, p. 386-391, 1991. DOI [https://doi.org/10.1016/0301-4215\(91\)90061-R](https://doi.org/10.1016/0301-4215(91)90061-R) .

STATISTA. **Cumulative installed solar power capacity in China from 2012 to 2022.** Statista, 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/279504/cumulative-installed-capacity-of-solar-power-in-china/> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

STATISTA. **Solar energy capacity in India from 2009 to 2022.** Statista. 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/865760/india-solar-energy-capacity/#statisticContainer> Acesso em 6 de agosto de 2023.

STATISTA. **Solar Energy in Japan.** Statista. 2023. Disponível em: <https://www.statista.com/study/102669/solar-energy-in-japan/> Acesso em 6 de agosto de 2023.

STATKRAFT. **Vannkraft.** 2021. Disponível em: <https://www.statkraft.no/var-virkosomhet/vannkraft/> . Acesso em 29 de junho de 2023.

TANDON, Tulika. **World's Largest Solar Park: All About Bhadla Solar Power Plant in India.** Jagran Josh, 2021. Disponível em: <https://www.jagranjosh.com/general->

[knowledge/worlds-largest-solar-park-all-about-bhadla-solar-power-plant-in-india-1637224483-1](https://www.knowledge/worlds-largest-solar-park-all-about-bhadla-solar-power-plant-in-india-1637224483-1) . Acesso em 6 de agosto de 2023.

TESTER, J. W., ANDERSON, B. J., BATCHELOR, A. S., BLACKWELL, D. D., DIPIPO, R., DRAKE, E. M., ... & AUGUSTINE, C. **The future of geothermal energy: impact of enhanced geothermal systems (EGS) on the United States in the 21st century.** 2007. Massachusetts Institute of Technology (MIT). <https://doi.org/10.1098/rsta.2006.1964>

TURKENBURG, Wim C. **Renewable Energy Technologies.** In: United Nations Development Programme. World Energy Assessment: Energy and the Challenge of Sustainability. UNDP, 2000. cap. 7, p. 219-272. ISBN 92-1-126126-0.

UN. **What is renewable energy?** United Nations - Climate Action, 2021. Disponível em: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy> . Acesso em 6 de agosto de 2023.

UNFCCC. **Conference of the Parties (COP).** United Nations - Climate Change, 2023. Disponível em: <https://unfccc.int/process/bodies/supreme-bodies/conference-of-the-parties-cop> Acesso em 6 de agosto de 2023.

UNFCCC. **The Paris Agreement.** United Nations Climate Change, 1 dez. 2015. Disponível em: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement> Acesso em 25 de junho de 2023.

WEILAND, P. **Biogas production: Current state and perspectives.** Applied Microbiology and Biotechnology, 85(4), 849–860. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2246-7>

WIND EUROPE. **Interactive Data & Maps.** Disponível em: <https://windeurope.org/intelligence-platform/interactive-data-and-maps/> Acesso em 25 de setembro de 2023.

WIND EUROPE. **Wind energy in Europe: 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026.** Wind Europe, 2023. Disponível em: <https://windeurope.org/intelligenceplatform/product/wind-energy-in-europe-2021-statistics-and-the-outlook-for-2022-2026/> Acesso em 25 de setembro de 2023.

WISEVOTER. **CO2 Emissions by Country**. Wisevoter, 1 mar. 2023. Disponível em: <https://wisevoter.com/country-rankings/co2-emissions-by-country/> . Acesso em 19 junho de 2023.

WISEVOTER. **Countries by Coastline**. Wisevoter. 2022. Disponível em: <https://wisevoter.com/country-rankings/countries-by-coastline/>. Acesso em 6 de agosto de 2023.

WRI BRASIL. **O que a Conferência do Clima significou para o Brasil e o mundo**. Wri Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/o-saldo-da-cop26-o-que-conferencia-do-clima-significou-para-o-brasil-e-o-mundo> . Acesso em 22 de setembro de 2022.

WULFF, Hans. **The Traditional Crafts of Persia**. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1966.

ZHANG, Dongliang; HUANG, Guangqing; XU, Yimin. **Waste-to-Energy in China: Key Challenges and Opportunities**. *Energies*. v. 8, n. 12, p. 14182-14196, 1 jun. 2015. <https://doi.org/10.3390/en81212422> .