



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

RODRIGO MONZON FIGUEREDO

**Análise temporal dos aspectos técnicos, financeiros e ambientais de sistemas de
geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos e por aerogeradores**

Guaratinguetá - SP

2023

Rodrigo Monzon Figueredo

Análise temporal dos aspectos técnicos, financeiros e ambientais de sistemas de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos e por aerogeradores

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia e Ciências do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Me. Thiago Matheus Martins de Moraes.

Coorientadora: Profa. Dra. Eliana Vieira Canettieri

F475a	<p>Figueredo, Rodrigo Monzon Análise temporal dos aspectos técnicos, financeiros e ambientais de sistemas de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos e por aerogeradores / Rodrigo Monzon Figueredo - Guaratinguetá, 2023. 70 f : il. Bibliografia: f. 55-62</p> <p>Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá, 2023. Orientador: Me. Thiago Matheus de Moraes Coorientadora: Prof^a. Dr^a. Eliana Vieira Canettieri</p> <p>1. Sistemas de energia fotovoltaicas. 2. Energia solar. 3. Energia eólica. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 620.91</p>
-------	--

RODRIGO MONZON FIGUEREDO

ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO PARTE
DO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Dr. CELSO EDUARDO TUNA
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:



Me. THIAGO MATHEUS MARTINS DE MORAES
Orientador/UNESP – FEG



Prof. Dr. RUBENS ALVES DIAS
UNESP – FEG



Prof. Dr. JOSÉ FELICIANO ADAMI
UNESP – FEG

DADOS CURRICULARES

RODRIGO MONZON FIGUEREDO

NASCIMENTO 08/04/1995 – La Paz / LP - Bolívia

FILIAÇÃO Rene Monzon Salcedo
Claudia Figueredo Gironda

2016/2023 Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia e Ciências de Guaratinguetá

Dedico este trabalho, de modo especial, à Deus, meu irmão, pai e a todos os meus professores que me incentivaram a acreditar em mim.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus que me criou e que sempre esteve, está e estará comigo;

ao meu irmão *Hernan Monzon* e ao meu pai *René Monzon*, que apesar das dificuldades enfrentadas, sempre me auxiliaram em tudo que podiam e sem ajuda deles não seria possível estudar;

a minha tia *Deysi Monrroy* por ter me colocado na escola na primeira série do ensino fundamental;

a minha tia *Susy Monzon*, meu tio *Liberato Figueredo* e meu tio *Alcidez Monzon* que foram fundamentais para continuar o ensino fundamental II;

a minha tia *Alicia Monrroy* e minha Irmã *Soledad Rosmery Monzon* pelo apoio que podiam me dar;

ao senhor *José Francisco de Andrade* por ter me ajudado em momentos que precisei para poder continuar os estudos na graduação;

a todos os professores que tive, em especial a *Profa. Dra Heloisa Acciaci* que me ajudou e me incentivou a continuar a estudar na graduação;

a minha coorientadora *Profa. Dra. Eliana Vieira Canettieri* e ao meu orientador *Me. Thiago Matheus Martins de Moraes* que sempre me apoiou e me ensinou quando foi preciso e pela paciência para realizar este trabalho;

a Faculdade de Engenharia e Ciências do Campos de Guaratinguetá por ter me dado a oportunidade de estudar engenharia.

“Sem disciplina, o talento não serve para nada.”

Cristiano Ronaldo

RESUMO

As energias solar e eólica ganharam destaque nos últimos anos devido à sua natureza limpa e renovável. Elas desempenham um papel vital na redução de emissões de gases de efeito estufa, são cada vez mais acessíveis em termos de custos e promovem a independência energética, acelerando a transição global para um futuro sustentável e com baixas emissões de carbono. Foi desenvolvido o presente trabalho com o objetivo de estudar os aspectos técnicos, financeiros e ambientais ao longo do tempo. Para este estudo foram selecionados cinco países em diferentes regiões do mundo e no Brasil, e analisou-se por meio de indicadores de capacidade instalada, potência instalada, custo da eletricidade e custo inicial de cada país na instalação de um sistema fotovoltaico e de um aerogerador. Realizou-se comparações do retorno de investimento (ROI) do painel fotovoltaico na qual um país da Europa teve o maior ROI enquanto um país da América do Norte teve o menor ROI e em relação ao sistema de aerogerador nos países selecionados, o que teve maior ROI foi de um país da Europa e a menor, um país Asiático. Demonstrou-se os impactos ambientais da energia solar fotovoltaica e da energia eólica pela redução de emissão de CO₂ na atmosfera.

PALAVRAS-CHAVE: Energia Fotovoltaica; Energia Aerogerador; ROI; Energia Solar; Energia Eólica; Energia Renováveis.

ABSTRACT

Solar and wind energy have gained prominence in recent years due to their clean and renewable nature. They play a vital role in reducing greenhouse gas emissions, are increasingly affordable and promote energy independence, accelerating the global transition to a sustainable, low-carbon future. This work was developed with the aim of studying technical, financial and environmental aspects over time. For this study, five countries were selected in different regions of the world and in Brazil, and analyzed using indicators of installed capacity, installed power, electricity cost and initial cost of each country when installing a photovoltaic system and a wind turbine. Comparisons were made of the return on investment (ROI) of the photovoltaic panel in which a country in Europe had the highest ROI while a country in North America had the lowest ROI and in relation to the wind turbine system in the selected countries, the one that had the highest ROI was from a European country and the smallest, an Asian country. The environmental impacts of photovoltaic solar energy and wind energy have been demonstrated by reducing CO₂ emissions into the atmosphere.

KEYWORDS: Photovoltaics; Wind turbine energy; ROI; Solar energy; Wind Energy; Renewable energy

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Investimento em fontes de energia não renováveis e renováveis.....	18
Figura 2 – Matriz Energética Mundial 2021.....	19
Figura 3 – Matriz Elétrica Mundial 2021.....	19
Figura 4 – Matriz Energética Brasileira 2021.....	22
Figura 5 – Matriz Elétrica do Brasileira 2021.....	22
Figura 6 – Matriz Energética do Brasil e no Mundo no ano de 2020... ..	23
Figura 7 – Matriz Elétrica do Brasil e no Mundo no ano de 2020.....	24
Figura 8 – Desenvolvimento da energia eólica no século 20.....	25
Figura 9 – Capacidade global de energia solar instalada 2002 -2021 (em GW)	26
Figura 10 – Esquemática do funcionamento de um sistema fotovoltaico.....	28
Figura 11 – Aerogerador sistema isolado.....	30
Figura 12 – Gráfico de potência instalada de painéis fotovoltaicos (MW)	37
Figura 13 – Gráfico de potência instalada de aerogeradores (MW)	40
Figura 14 – Preço da energia elétrica.....	41
Figura 15 – Custo inicial de instalação por kWp de painéis fotovoltaicas.....	42
Figura 16 – Gráfico do ROI de painel fotovoltaico.....	44
Figura 17 – Custo inicial dos aerogeradores.....	45
Figura 18 – Gráfico do ROI do aerogerador.....	47
Figura 19 – Cumulativo: quanto CO ₂ produziu até 2021.....	48
Figura 20 – Emissões anuais de CO ₂	49
Figura 21 – Total de adição de capacidade de eletricidade renovável de 2001 até 2027.....	50
Figura 22 – Geração de energia renovável por tecnologia de 2010 até 2030.....	51
Figura 23 – Investimento energético global de 2015 até 2023.....	52

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Potência instaladas de painéis fotovoltaicos.....	37
Tabela 2 – Potência instaladas de aerogeradores.....	39
Tabela 3 – Custo inicial de instalação por kWp de painéis fotovoltaicos.....	42
Tabela 4 – ROI de cada país do painel fotovoltaico.....	43
Tabela 5 – Custo inicial dos aerogeradores.....	45
Tabela 6 – ROI do aerogerador.....	46
Tabela 7 – Custo inicial de instalação por kWp de painéis fotovoltaicas de cada país.....	63
Tabela 8 – Preço da energia elétrica de cada país.....	63
Tabela 9 – Custo inicial dos aerogeradores.....	68
Tabela 10 – Preço da energia elétrica de cada país.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EPE	Empresa de Pesquisa Energética
IRENA	International Renewable Energy Agency
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
IEA	International Energy Agency
CVM	Comissão de Valores Mobiliários
ESG	Environmental, Social and Governance
ONU	Organização das Nações Unidas
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
II PND	II Plano Nacional de Desenvolvimento
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PBE	Programa Brasileiro de Rotulagem
CONPET	Programa Nacional do Uso dos derivados do Petróleo e Gás Natural
PNMC	Plano Nacional de Mudança Climáticas
MME	Ministérios de Minas e Energia
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial
PNEE	Programa Nacional de Eficiência Energética
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética
BEN	Balanco Energético Nacional
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
GWEC	Global Wind Energy Council
WEO	World Energy Outlook
ROI	Retorno de Investimento
BMWK	Bundesministerium für Wirtschaft und Klimapolitik
ABSOLAR	Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica
ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
SEIA	Sistema Estadual de Informações Ambientais da Bahia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	15
1.1.1	Objetivos geral	15
1.1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DA LITERATURA	17
2.1	ENERGIA RENOVÁVEIS PANORAMA MUNDIAL.....	17
2.2	AS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL.....	20
2.3	AS ENERGIAS RENOVÁVEIS: BRASIL E O MUNDO.....	23
2.4	ENERGIA EÓLICA.....	24
2.4.1	Desenvolvimento dos aerogeradores	25
2.5	ENERGIA SOLAR.....	26
2.5.1	Desenvolvimento da energia solar fotovoltaica	26
3	MATERIAL E MÉTODO	27
3.1	PAINEL FOTOVOLTACO: FUNCIONAMENTO.....	27
3.1.1	Principais países produtores de energia solar	28
3.2	AEROGERADOR: FUNCIONAMENTO.....	29
3.2.1	Principais países produtores de energia eólica	30
3.3	AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA.....	31
3.3.1	O que fornece a agência internacional de energia?	32
3.4	RETORNO DE INVESTIMENTO	32
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1	PANORAMA DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE ENERGIA SOLAR.....	35
4.1.1	Energia solar no Brasil	36
4.1.2	Potência instalada: Painéis fotovoltaicos	36
4.2	PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE ENERGIA EÓLICA DO MUNDO.....	38
4.2.1	A energia eólica no Brasil	38
4.2.2	Potência instalada: Aerogeradores	39
4.3	CUSTOS.....	40
4.3.1	Da energia elétrica	40
4.3.2	Custo inicial para instalação: Painel fotovoltaico	41
4.3.2.1	Cálculo do retorno sobre o investimento (ROI): Painel fotovoltaico.....	43

4.3.3	Custo inicial para instalação: Aerogeradores.....	44
4.3.3.1	Cálculo do retorno sobre o investimento (ROI): Aerogeradores.....	46
4.4	EMISSÃO DE CO ₂ NOS PAÍSES SELECIONADOS.....	47
4.5	PANORAMA GERAL DE ENERGIA RENOVÁVEIS: PROJEÇÃO E INVESTIMENTO.....	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
5.1	REFERÊNCIAS.....	55
5.2	APÊNDICE A – Cálculo do ROI do painel fotovoltaico.....	63
5.3	APÊNDICE B – Cálculo do ROI do aerogerador.....	67

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, as atividades das sociedades modernas têm se tornado cada vez mais dependentes da eletricidade. Nesse contexto, surge a necessidade de utilizar esse recurso de maneira mais inteligente e eficiente, uma vez que a maior parte da energia elétrica utilizada atualmente é proveniente de fontes finitas e têm uma capacidade de produção limitada em relação ao consumo (OLIVEIRA et al., 2021).

A composição da matriz energética global é predominantemente constituída por fontes não renováveis na geração de eletricidade, e tem como principal exemplar dessa categoria a geração de energia por meio do carvão mineral (EPE, 2021).

O Brasil se destaca no contexto da geração de energia renovável, com a maior parte de sua matriz elétrica composta por este tipo de fonte, especialmente a produção hidrelétrica que corresponde a 56,8 % (BRASIL, 2021).

Nos últimos anos, tem ocorrido um crescimento significativo da geração de energia por fontes solar com 22% de aumento e eólica com 9% de aumento (IRENA, 2022). Essas fontes renováveis estão se tornando cada vez mais populares devido aos avanços tecnológicos, à conscientização sobre a sustentabilidade e às políticas públicas favoráveis. Espera-se que essa tendência de crescimento continue nos próximos anos, impulsionando a transição global para uma matriz energética mais limpa e sustentável (IRENA, 2021).

O presente trabalho visa contribuir na para análise temporal dos aspectos técnicos, financeiros e ambientais de sistemas de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos e por aerogeradores em diferentes regiões do mundo e do Brasil.

1.1 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os específicos do trabalho.

1.1.1 Objetivos geral

Analisar o crescimento, custo e o impacto ambiental de sistemas de geração fotovoltaicas e de aerogeradores ao longo do tempo no mundo.

1.1.2 Objetivos específicos

A partir do objetivo geral, apresentam-se os seguintes objetivos específicos da pesquisa:

- Selecionar cinco países em diferentes regiões do mundo mais o Brasil, e analisar, por meio de indicadores de capacidade instalada, potência instalada, custo da eletricidade e custo inicial de cada país na instalação de um sistema fotovoltaico e de um aerogerador;
- Realizar comparações do retorno de investimento do painel fotovoltaico e do aerogerador nos países selecionados;
- Demonstrar os impactos ambientais da energia solar fotovoltaica e da energia eólica pela redução da emissão de CO₂ na atmosfera.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Para a melhor compreensão da relevância e importância das energias solar fotovoltaica e eólica no mundo, é importante o estudo da evolução destas fontes ao longo dos anos e dos principais fatores socioeconômicos e ambientais que fazem dessas tecnologias as principais fontes alternativas de produção de energia elétrica, de acordo com Villalva (2015).

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS PANORAMA MUNDIAL

As primeiras publicações sobre política e energia aconteceram entre as décadas de 1970 e 1980, focando nas respostas dos governos às crises do petróleo. No início da década de 1980 já se previa que no século 21 o controle dos recursos energéticos acarretaria graves riscos envolvendo a segurança entre as nações (OMENA; SOUZA; SOARES, 2013).

Em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente (Estocolmo) passou a apresentar como uma preocupação global as consequências das intervenções dos seres humanos sobre o consumo dos recursos naturais. Porém com a divulgação do relatório “Nosso Futuro Comum” no final dos anos 1980 e com a realização da CNUMAD – Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada em 1992 (OMENA; SOUZA; SOARES, 2013), a questão ambiental ganhou mais visibilidade no cenário mundial.

A partir da década de 1990 ficaram evidentes três características que passaram a desempenhar no desenvolvimento na área de energia, as quais são: o avanço da tecnologia que possibilita a conversão cada vez mais eficiente de fontes primárias em combustíveis e eletricidade; mudanças nas políticas de energia considerando impactos socioambientais e mudanças climáticas globais; e a implementação do conceito de segurança energética, privilegiando alternativas locais de produção de energia. Esses três componentes possibilitam o avanço de alternativas tecnológicas e instrumentos de políticas públicas para mudar o sistema convencional de geração de energia baseado em energias não renováveis (JANNUZZI, 2014).

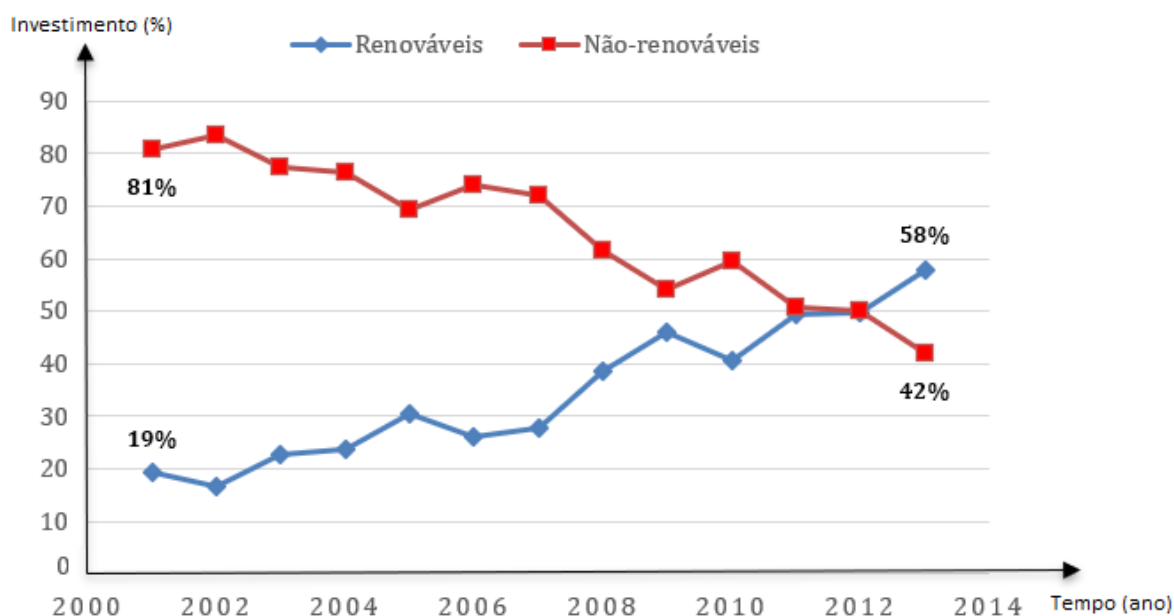
A energia renovável ganhou destaque nos últimos anos, segundo Crikemas (2011, p. 4-5), devido à combinação de tendências e fatores, tais como a nitidez que a queima de combustíveis fósseis leva a emissão de CO₂ na atmosfera, agravando fatores climáticos; o aumento demográfico da população mundial (principalmente na Ásia), implicando no

aumento do consumo de energia e conseqüentemente a escassez das fontes energias não renováveis (petróleo, carvão, nuclear e gás natural). Portanto, todo esse cenário impulsiona para pesquisa e investimento na utilização de outras formas de energia, principalmente as energias renováveis (BARBOSA, 2016).

Outro fator importante que influencia para buscar de novas fontes de energia é o mercado energético, pois o aumento do preço de fontes energias fósseis podem aumentar em um curto espaço de tempo e criar uma crise mundial, logo, as fontes renováveis de energia se tornam mais atrativas e economicamente interessantes em comparação as fontes convencionais de energia (CRIEKEMANS, 2011).

Na Figura 1 pode-se observar que entre as capacidades de energia adicionadas, nos anos de 2001 a 2013, houve uma queda na participação total de investimento em fontes de energia não-renováveis (petróleo, carvão, energia nuclear e gás natural) em relação aos investimentos em fontes renováveis; ainda, em 2012, ocorreu uma inversão de sentido mostrando que o investimento nas fontes renováveis ultrapassou a de não renováveis pela primeira vez.

Figura 1 - Investimento em fontes de energia não renováveis e renováveis

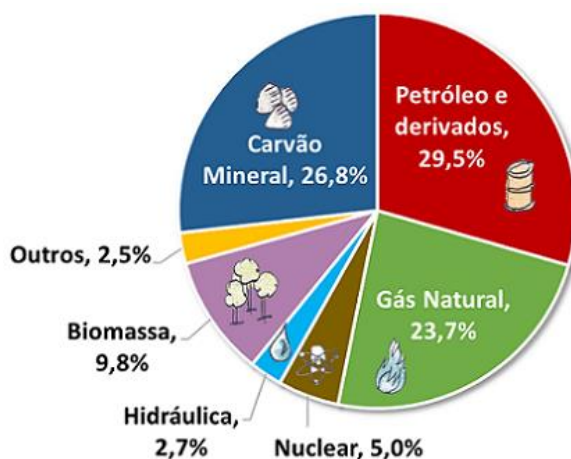


Fonte: Elaborado pelo autor com dados da IRENA (2014)

Mesmo o investimento em fontes renováveis ultrapassando as de não renováveis, como mostrou-se na Figura 1, a matriz energética mundial ainda é dominada pelas fontes de

energias não renováveis, como pode-se observar na Figura 2, a qual mostra que 29,5 % provêm do petróleo e derivados, 26,8 % do carvão mineral, 23,7 % do gás natural, 9,8 % da biomassa, 2,7 % da hidráulica (renovável) e 2,5 % de outras fontes (IEA, 2021).

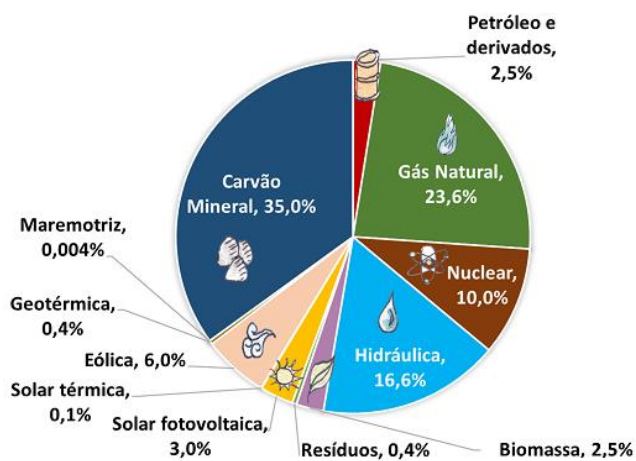
Figura 2 – Matriz Energética Mundial 2020



Fonte: IEA (2022).

Na Figura 3 são ilustradas que a geração de energia elétrica no mundo é dependente dos combustíveis fósseis com 35,0 % de carvão mineral, 23,6 % gás natural, 16,6 % hidráulica (renovável), 10,0 % nuclear, 3,0 % Solar fotovoltaica, 6,0 % eólica, 0,4 % geotérmica, 0,4 % resíduos, 0,1 % solar térmica, maremotriz 0,004 % e 2,5% de biomassa (IEA, 2022).

Figura 3 - Matriz Elétrica Mundial 2019.



Fonte: IEA (2022)

Como é possível observar nas Figuras 2 e 3, em âmbito mundial a maior fração das energias provenientes são de fontes não renováveis. Além dos programas governamentais para a mudança deste cenário, segundo a Comissão de Valores Mobiliários (CVM), as empresas procuram meios, por meio dos investidores, para que possam financiar suas atribuições ou em novos projetos. Nesse contexto, sobressaem-se as ações sustentáveis que empresas estão adotando por intermédio dos princípios ESG – sigla em inglês *Environmental, Social and Governance* (Ambiental, Social e Governança).

A ESG foi criada mediante um relatório do Pacto Global e Banco Mundial em 2004, para incorporar costumes sustentáveis em todas as operações da empresa e buscar um exemplar modelo de negócio sustentável (BATISTA, 2022).

A sustentabilidade e combate às mudanças climáticas também está inserido na resolução “Transformando nosso mundo: Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável ou apenas “Agenda 2030” como é chamada. Essa resolução foi adotada pelo Brasil junto aos demais estados membros da ONU (193 países e territórios). A Agenda 2030 definiu 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS número 13 propõe: “Ação contra a mudança global do clima: Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactos” e o ODS número 7 propõe “Energia limpa e acessível: Garantir o acesso a fontes de energia renováveis, sustentáveis e modernas para todos.” A meta é alcançar os objetivos até 2030 e a EPE participa do grupo de trabalho que ajusta o objetivo global à realidade brasileira (OLIVEIRA, 2018).

2.2 AS ENERGIAS RENOVÁVEIS NO BRASIL

O Brasil tem um histórico na questão de algumas das suas fontes alternativas de energia, segundo o Instituto do Açúcar do Alcool (IAA) criado em 1933, embora o assunto das energias renováveis seja relativamente recente no mundo. Todavia, o avanço mais importante aconteceu nos anos 1970, depois do primeiro choque da crise do petróleo em 1973. Nessa época o governo do Brasil inseriu o âmbito do II Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND) no qual focou nos combustíveis (matriz energética), especificamente na substituição do petróleo pelo álcool carburante (EIA, 2016). Ao mesmo tempo, o governo brasileiro também buscou alternativas para a matriz elétrica incentivando a produção de energia hidrelétrica (BAER, 1996).

A nação brasileira incorporou dois planos no setor de energias as quais foram: manter a matriz limpa e renovável, focalizando no hidráulico e a outra incentivando a conservação e

uso eficiente por diversos programas do governo para outras fontes alternativa de energias renováveis (HM DE SOUZA, 2009). A seguir mostra-se os programas governamentais:

Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) executor das ações nas cidades, edificações, iluminação pública, indústrias e outros setores. Atividade iniciada em 1985 (PROCEL, 2022).

Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE) criada para conceder dados úteis relacionado à eficiência energética de uma pluralidade de produtos entregues aos consumidores. Atividade iniciada em 1984 (PBE, 2022).

Programa Nacional de Racionalização do Uso de Produtos à Base de Petróleo e Gás Natural (CONPET) gerado para proporcionar o uso eficiente dos combustíveis fósseis no transporte, residências, comércios, agricultura e indústrias. Iniciada em 1991 (CONPET, 2022).

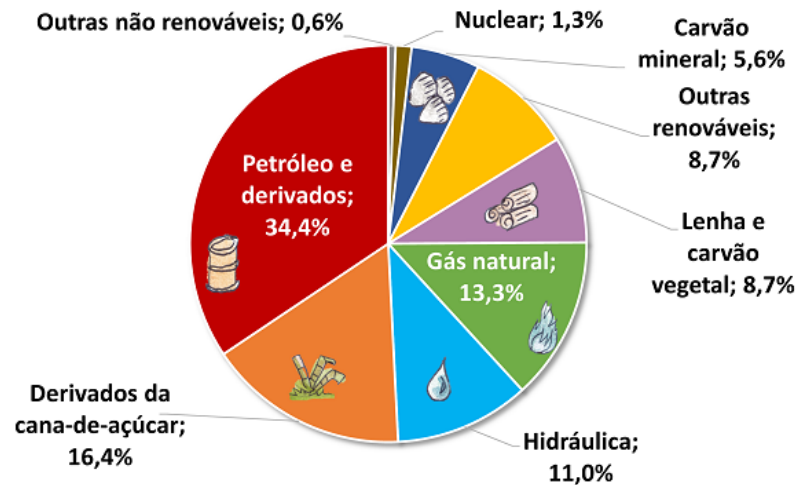
Plano Nacional de Mudanças Climáticas (PNMC) responsável pela mitigação das emissões de gases de efeito estufa em um esforço solidário mundial. Atividade iniciada em 2007 (PNMC, 2022)

Além desses programas de governo, houve uma colaboração entre as empresas estatais Eletrobrás e Petrobras, Ministérios de Minas e Energia (MME), os órgãos reguladores Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

Essas organizações citadas anteriormente foram ordenadas da seguinte maneira: INMETRO, ANEEL e ANP responsáveis por monitorar os programas governamentais por meio um Programa Nacional de Eficiência Energética (PNEE, 2010) e usando Conselho Nacional de Política Energética (CNPE, 1997). Enquanto a Petrobras e Eletrobrás ficavam a cargo de executar esses programas. Nesse contexto, a empresa do Estado denominada Empresa de Pesquisa Energética (EPE), dá suporte na pesquisa e planejamento energético (EPE, 2022).

Na Figura 4 está ilustrada a matriz energética do Brasil, na qual 34,4% Petróleo e derivados; 16,4% da cana de açúcar; 11,0% hidráulica; 13,3% gás natural; 8,7% lenha e carvão vegetal; 8,7 % de outras fontes renováveis; 5,6% carvão mineral; 1,3% nuclear e 0,6% de outras não renováveis. Observava-se que é usado mais fontes renováveis que não renováveis.

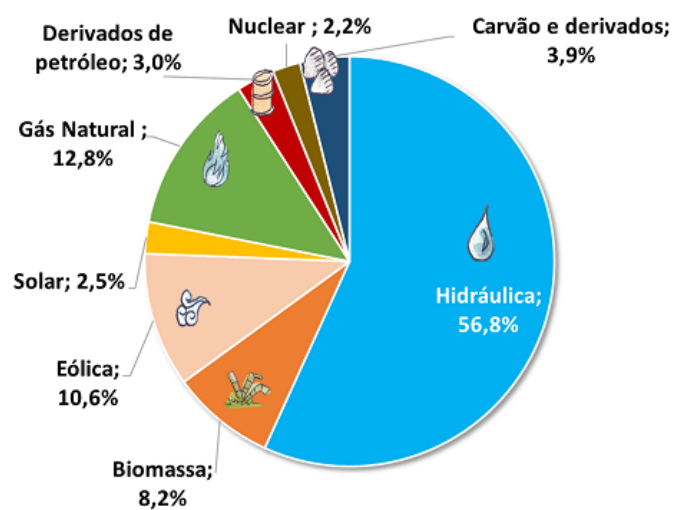
Figura 4 - Matriz Energética Brasileira 2021



Fonte: BEN (2021)

Na Figura 5 está ilustrada a matriz elétrica do Brasil, na qual 56,8 % hidráulica, 8,2 % biomassa, 10,6 % eólica, 12,8 %, gás natural, 2,5 % solar, 2,2 % nuclear, 3,0 % derivados de petróleo. Observa-se que é usado ainda mais fontes renováveis maior parte vem das usinas hidrelétricas que não renováveis.

Figura 5 - Matriz Elétrica do Brasileira 2021

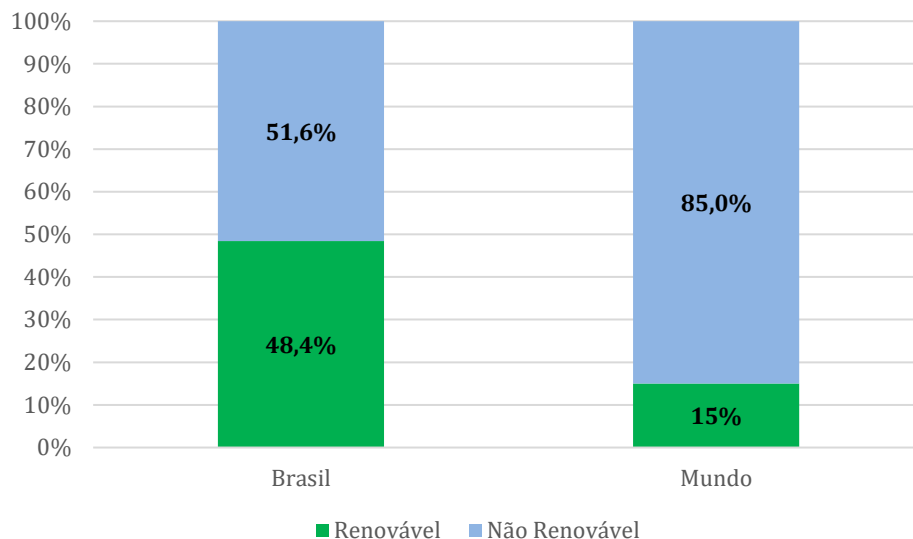


Fonte: BEN (2022)

2.3 AS ENERGIAS RENOVÁVEIS: BRASIL E O MUNDO

De acordo com Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2020 pelo governo, os dados mostram que a matriz energética brasileira é composta de média de 48,4 % fontes renováveis e a mundial de média de 15,0 %. Esse percentual destaca o Brasil no cenário mundial de energias renováveis, principalmente se comparado ao percentual de fontes renováveis na matriz energética mundial, que em 2018 foi de 23,0 %. (BRASIL, 2021). A Figura 6 ilustra a distribuição das fontes de energia no Brasil e no mundo em 2020.

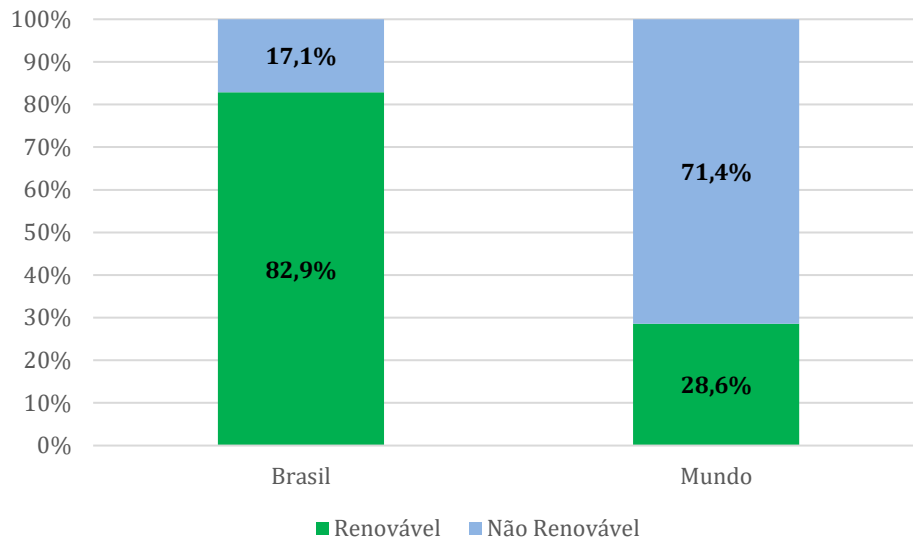
Figura 6 - Matriz Energética do Brasil e no Mundo no ano de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de BEN (2020)

Por sua vez os dados Balanço Energético Nacional (BEN) publicado em 2020 (EPE, 2020) pelo governo, mostram que a matriz elétrica brasileira é composta majoritariamente de fontes renováveis, com 82,9 %, enquanto a mundial de média de 28,6 %. Novamente esse percentual destaca o Brasil no cenário mundial de energias renováveis. A Figura 7 ilustra a distribuição das fontes de energia elétrica no Brasil em 2020.

Figura 7 - Matriz Elétrica do Brasil e no Mundo no ano de 2020



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de BEN (2020)

Das diversas fontes de energias, as principais alternativas de energias renováveis são a energia eólica e a solar por serem consideradas fontes limpas de energia e abundante no planeta Terra (ABDALA, 2019).

2.4 ENERGIA EÓLICA

Energia eólica é a conversão da energia cinética do vento em energia útil como na utilização de moinhos de vento para obter energia mecânica, velas para impulsionar veleiros ou na utilização de aerogeradores para produzir eletricidade (FTHENAKIS, 2009). Atualmente a energia eólica é vista uma das mais promitentes fontes de energia renováveis (CASTRO, 2004).

2.4.1 Desenvolvimento dos aerogeradores

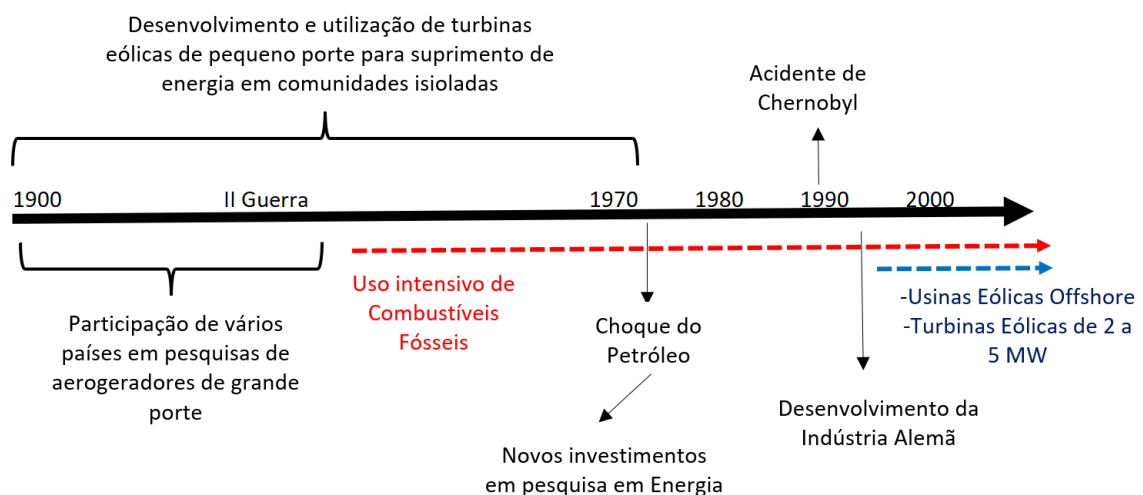
Antes da revolução industrial no final do século 19, o uso da energia eólica tradicional era muito utilizado, neste caso usava-se em grande quantidade para transformação em energia mecânica para a agricultura (CASTRO, 2004). Começou-se a usar em massa os combustíveis fósseis (Petróleo e seus derivados) porque era mais fácil de se transportar, flexibilidade e pelo alto teor energético (ALVES, 2017).

Sob outro enfoque, houve crescimento no avanço das redes elétricas e esse desenvolvimento na área elétrica motivou cientistas, pesquisadores e engenheiros a adaptarem os moinhos de vento para gerar eletricidade em 1888, o americano Charles Brush criou o primeiro aerogerador (DUTRA, 2008).

A progressão de aerogeradores em escala comercial, contudo avançou pelas crises do petróleo que ocorreram a partir dos anos 1970 (Burton et al., 2001). De acordo com Magalhães (2009), as modificações nas políticas necessárias para o desenvolvimento e investimento em energia eólica ocorrem agilmente nos países do primeiro mundo, enquanto nos países em desenvolvimento se deram de forma lenta devido aos baixos recursos para investir em pesquisa e tecnologia (CUNHA, 2004).

Na Figura 8 pode-se observar os principais marcos que ocorreram no século 20 no desenvolvimento eólico.

Figura 8 - Desenvolvimento da energia eólica no século 20



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Dutra (2001)

2.5 ENERGIA SOLAR

Energia solar é a conversão da energia proveniente da luz e do calor do sol em energia útil por meio de equipamentos dedicados a este fim. A radiação solar pode ser usada como fonte de energia térmica diretamente para aquecer fluidos e ambientes, como também pode ser convertida diretamente em energia elétrica com as células fotovoltaicas (ANEEL, 2008).

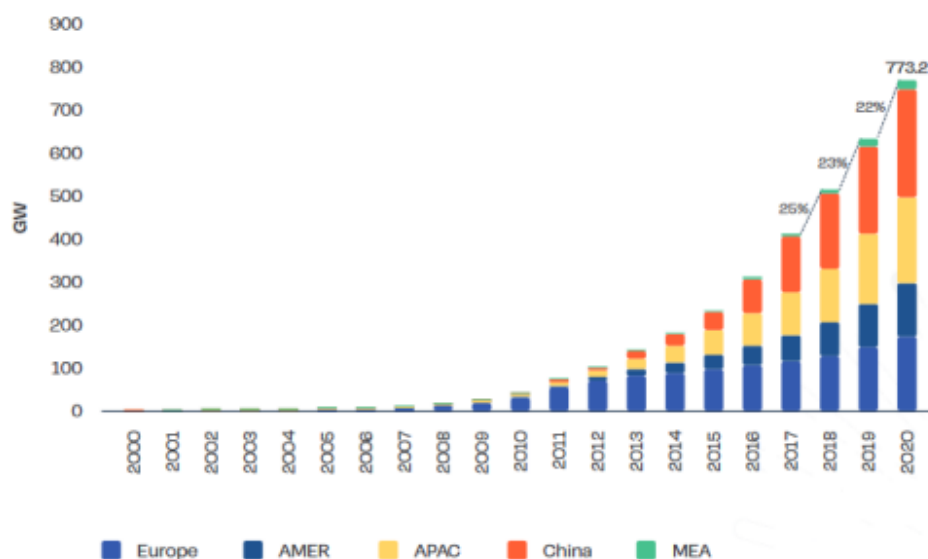
2.5.1 Desenvolvimento da energia solar fotovoltaica

Energia solar fotovoltaica é a transformação da radiação solar em eletricidade por meio de materiais semicondutores os quais segundo CRESESB (2006) atualmente são fabricados usando silício (Si) majoritariamente. Essa tecnologia é chamada de efeito fotovoltaico (GARCIA, 1995).

Foi em 1839 que o efeito fotovoltaico foi visto por primeira vez pelo francês Edmund Becquerel, na qual este físico percebeu o aparecimento de uma tensão entre eletrodos de solução condutora na presença de luz solar (GARCIA, 1995). O primeiro equipamento fotovoltaico foi montado em 1876, porém somente em 1956, iniciou-se a produção industrial (CRESESB, 2006).

Na Figura 9 observa-se um crescimento da capacidade global de energia solar instalada do ano 2002 até 2021 em diferentes regiões do mundo.

Figura 9 - Capacidade global de energia solar instalada 2002 -2021 (em GW)



Fonte: HEMETSBERGER, SCHMELA e CHIANETTA (2021)

3 MATERIAL E MÉTODO

Neste capítulo são discutidas as fontes de energia renováveis e as localidades das quais os dados são utilizados neste trabalho, além dos métodos para obtenção de dados para realizar comparação do crescimento destes sistemas nas matrizes energéticas.

3.1 PAINEL FOTOVOLTAICO: FUNCIONAMENTO

Os painéis fotovoltaicos são dispositivos capazes de transformar a energia solar em energia elétrica (ANEEL, 2008). Essa tecnologia é uma das mais promissoras para a produção de energia elétrica limpa e renovável (ANEEL, 2008), e tem se tornado cada vez mais acessível e competitiva no mercado de energia.

Um painel fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas que convertem a energia solar em energia elétrica (BALLESTRIN et al., 2014). Essas células são feitas de materiais semicondutores, como o silício, que possuem propriedades especiais que permitem que os elétrons sejam excitados pela luz solar e se movam em direção a um eletrodo (BALLESTRIN et al., 2014). Quando isso acontece, uma corrente elétrica é gerada e pode ser usada para alimentar dispositivos elétricos.

As células fotovoltaicas usualmente são conectadas em série, o que aumenta a tensão do sistema de painéis fotovoltaicos (EPE, 2021). A tensão dos painéis pode variar de acordo com a intensidade da luz solar que incide sobre eles, da temperatura ambiente e do ângulo de incidência da luz solar (EPE, 2021).

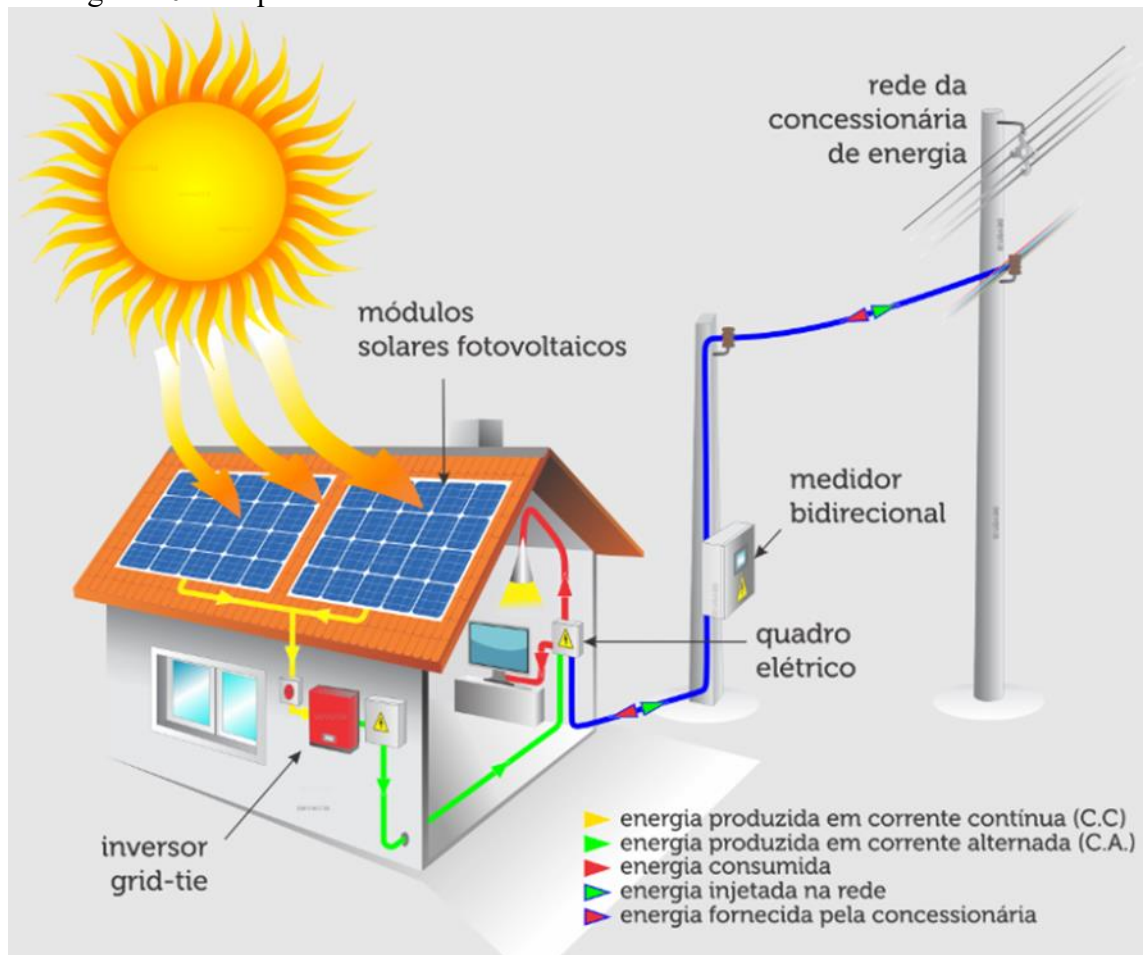
Para que a energia elétrica gerada pelos painéis fotovoltaicos, uma fonte de corrente contínua, possa ser utilizada em residências e indústrias, é necessário que ela seja convertida em corrente alternada (ANEEL, 2008). Essa conversão é realizada por meio de um inversor, que converte a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada, que é a forma de corrente elétrica utilizada em nossas casas e empresas (ANEEL, 2008).

Nos sistemas off-grid, além dos painéis fotovoltaicos, é necessário incluir um controlador de carga para gerenciar a carga das baterias e prevenir a sobrecarga ou descarga excessiva delas (EPE, 2021). O papel principal do controlador de carga é garantir que a quantidade ideal de energia elétrica seja armazenada nas baterias. (EPE, 2021).

De acordo com a ANEEL (2021), essa tecnologia tem se tornado cada vez mais acessível e competitiva, tornando-se uma opção interessante para consumidores residenciais.

Na Figura 10 pode-se observar o esquemático do funcionamento de um sistema fotovoltaico.

Figura 10 – Esquemático do funcionamento de um sistema fotovoltaico.



Fonte: LUZ SOLAR (2023).

3.1.1 PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE ENERGIA SOLAR

De acordo com a Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), os principais produtores de energia solar do mundo são:

- China;
- Estados Unidos;
- Índia;
- Japão;

- Alemanha.

Esses seis países respondem por mais de 70% da capacidade instalada de energia solar no mundo, o que mostra a importância dessas nações na transição para uma matriz energética mais sustentável (IRENA, 2023).

De acordo com a International Energy Agency (IEA, 2021), a China é líder mundial em produção de energia solar, sendo responsável por cerca de 30% da capacidade instalada no mundo em 2021. Em seguida, aparecem os Estados Unidos, com 18% da capacidade instalada, a Índia, com 9%, e o Japão, com 8%. Vale ressaltar que outros países, como Alemanha, Itália e Austrália, também têm se destacado na produção de energia solar e o Brasil encontra-se na oitava posição (IEA, 2021)

3.2 AEROGERADOR: FUNCIONAMENTO

Um aerogerador é um equipamento capaz de converter a energia cinética do vento em energia elétrica. De maneira geral, ele é composto por um rotor com pás que são movimentadas pela força do vento, um gerador elétrico e uma torre para sustentar todo o conjunto (FARRET; SIMÕES, 2006).

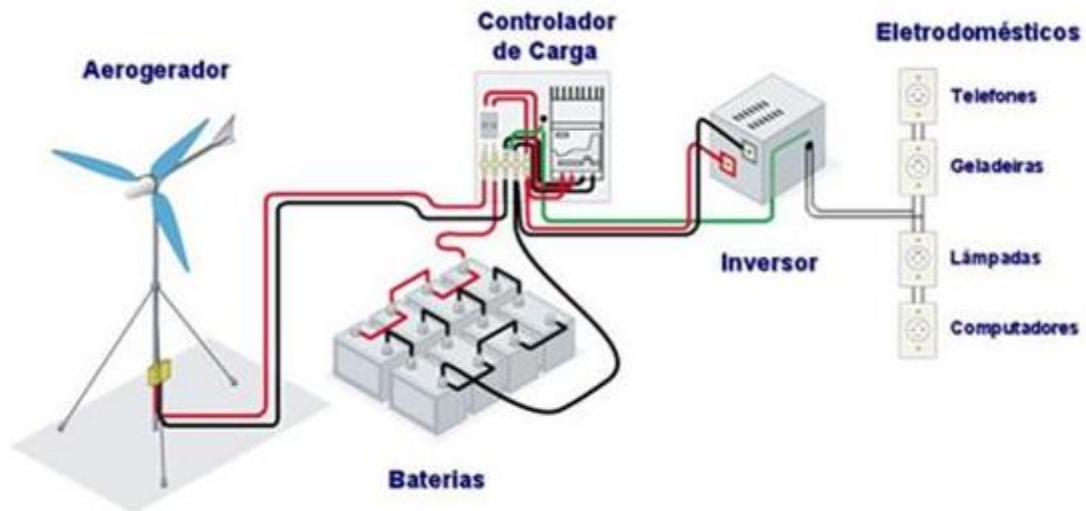
As pás do rotor são responsáveis por captar a energia do vento e transformá-la em movimento rotativo. Quanto maior o diâmetro do rotor e a velocidade do vento, maior será a potência gerada pelo aerogerador (ALVES, 2005).

O movimento rotativo das pás é transmitido a um eixo que está conectado ao gerador elétrico, que converte a energia mecânica em energia elétrica. Esse gerador pode ser de vários tipos, como síncrono, assíncrono ou de ímãs permanentes, dependendo do tamanho e da aplicação do aerogerador (FARRET; SIMÕES, 2006).

Para que a energia elétrica gerada pelo aerogerador possa ser utilizada, é necessário que ela seja convertida em uma tensão e frequência adequadas para ser entregue à rede elétrica. Para isso, são utilizados dispositivos eletrônicos como inversores, controladores de carga e sistemas de armazenamento de energia (ALVES, 2005).

Em resumo, um aerogerador é capaz de transformar a energia cinética do vento em energia elétrica, por meio do movimento rotativo das pás do rotor e do uso de um gerador elétrico. Para que a energia elétrica seja aproveitada, é necessário que ela seja convertida em uma tensão e frequência adequadas, por meio do uso de dispositivos eletrônicos (ALVES, 2005). Na Figura 11 pode-se observar um sistema isolado.

Figura 11 – Aerogerador sistema isolado.



Fonte: CRESESB (2005).

3.2.1 PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é uma das principais fontes de energia renovável utilizada no mundo. Dentre os países que produzem energia eólica, é possível destacar aqueles que apresentam maior capacidade instalada em termos de megawatts (MW) de potência eólica (GWEC, 2022). Os principais produtores de energia solar do mundo são:

- China;
- Estados Unidos;
- Alemanha;
- Índia;
- Espanha;

O líder mundial em capacidade instalada de energia eólica é a China, que conta com mais de 281 GW em 2021, representando cerca de 40% da capacidade instalada global. Esse número se deve ao forte investimento do país nessa fonte de energia, além das políticas governamentais que incentivam a expansão do setor (GWEC, 2022).

Em segundo lugar estão os Estados Unidos, com uma capacidade instalada de cerca de 127 GW em 2021, seguidos pela Alemanha, com 63 GW, e Índia, com 40 GW. O Reino Unido, com 24 GW, e a Espanha, com 25 GW, completam a lista dos seis países com maior

capacidade instalada de energia eólica no mundo e o Brasil encontra-se no sétimo lugar (GWEC, 2022).

Esses países apresentam políticas governamentais favoráveis, incentivos financeiros e uma forte presença da indústria de energia eólica, o que tem levado a um rápido crescimento dessa fonte de energia. Além disso, o vento é um recurso natural que está disponível em diversas regiões do mundo, o que torna a energia eólica uma opção viável para a produção de energia em diversos países (GWEC, 2022).

3.3 AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA

A Agência Internacional de Energia (AIE) é uma organização intergovernamental criada em 1974 para promover a cooperação internacional na área de energia. Sua sede fica em Paris, França, e atualmente conta com 30 países membros e 8 países associados (AIE, 2023).

A AIE tem como objetivo promover o uso seguro, sustentável e eficiente de energia para o benefício de todos os países e suas populações. Para isso, a agência fornece análises, dados e soluções para os governos, empresas e outras organizações em todo o mundo (AIE, 2023).

Uma das principais contribuições da AIE é a publicação anual do World Energy Outlook (WEO), que apresenta análises detalhadas do mercado global de energia, incluindo projeções de demanda, produção e investimentos futuros. Além disso, a AIE também realiza estudos sobre tecnologias de energia limpa, eficiência energética, segurança energética e políticas governamentais em todo o mundo (AIE, 2023).

A AIE é uma organização importante no cenário energético global, uma vez que oferece informações e análises que ajudam os países a tomar decisões informadas sobre suas políticas energéticas. Além disso, a agência tem um papel fundamental na promoção da transição energética para fontes renováveis e na luta contra as mudanças climáticas, ao fornecer soluções sustentáveis para o setor de energia (AIE, 2023).

3.3.1 O que fornece a agência internacional de energia?

A AIE fornece dados importantes sobre o crescimento da energia renovável no mundo. Por exemplo, em um relatório publicado em 2020 pela AIE, intitulado "Renewables 2020", a agência forneceu uma análise detalhada do crescimento das energias renováveis no mundo (AIE, 2020).

Além disso, a AIE também coleta dados sobre a capacidade instalada de energia renovável em todo o mundo, incluindo a energia solar e eólica. Esses dados podem ser usados para analisar as tendências de crescimento dessas fontes de energia em diferentes países e regiões (AIE, 2021).

A agência também publica relatórios anuais sobre a energia renovável no mundo, fornecendo informações importantes sobre a produção de energia solar e eólica em diferentes países. Por exemplo, em seu relatório de 2021, a agência destacou o papel crescente da energia solar e eólica na geração de eletricidade em todo o mundo, com o aumento da capacidade instalada em países como China, Estados Unidos e Índia (AIE, 2021).

Esses dados fornecidos pela AIE são cruciais para analisar o crescimento da energia renovável no mundo e identificar as tendências de crescimento da energia solar e eólica em diferentes países e regiões. Essas informações são valiosas para a tomada de decisões e políticas relacionadas à transição para uma economia mais sustentável e de baixo carbono.

3.4 RETORNO DE INVESTIMENTO

O termo Retorno de Investimento (ROI) é utilizado para descrever a relação entre os ganhos ou perdas resultantes de um investimento, e serve como uma métrica para avaliar o desempenho desse investimento (ASSAF, 2010).

Segundo Bona (2019), o ROI fornece uma taxa de retorno que indica o ganho ou perda do investidor em relação ao montante aplicado, oferecendo tanto uma análise do passado quanto uma perspectiva para o futuro.

O cálculo do ROI é realizado subtraindo-se o ganho obtido no investimento pelo valor total investido e, em seguida, dividindo-se o resultado pelo valor total investido (BONA, 2019). Dessa forma, a equação (1) do ROI é expressa da seguinte maneira:

$$ROI = \frac{L - I}{I}$$

(1)

sendo,

L: Lucro [US\$];

I: Investimento [US\$];

Supondo que o período de análise seja de um 8760 horas (equivale a um ano completo de geração) e uma capacidade instalada de 5 kWp (valor representa a capacidade máxima do sistema de gerar energia em condições ideais), pode-se calcular o ROI utilizando a equação (2).

$$L = CAP \cdot C \cdot 8760 \quad (2)$$

sendo,

L: Lucro [US\$], adotando como geração anual de energia;

CAP: Capacidade instalada [kW], adotado como o valor de 5 kWp.

C: Custo por kWh [US\$/kWh];

8760 é o número de horas

E o investimento calcula-se com a equação (3):

$$I = Ci \cdot CAP \quad (3)$$

sendo,

I: Investimento [US\$];

Ci = Custo médio inicial [US\$/kW];

CAP: Capacidade instalada [kW], adotado como o valor de 5 kWp.

Para facilitar a interpretação, o resultado pode ser multiplicado por 100, expressando o ROI como uma porcentagem. É importante ressaltar que o ROI é uma medida relativa que

permite comparar diferentes investimentos entre si. Quanto maior o valor do ROI, maior é o retorno em relação ao investimento inicial. Por outro lado, um ROI negativo indica que o investimento resultou em perdas (BONA, 2019).

O ROI permite que os investidores avaliem o ganho líquido em relação ao custo total de instalação do sistema de painéis solares ou aerogeradores. No entanto, é importante observar que a produção de eletricidade a partir de painéis solares e aerogeradores não é constante, uma vez que está sujeita à luz solar e ao vento disponível ao longo do dia e do ano. Portanto, o uso da premissa de 8.760 horas em um ano é uma simplificação que permite estimar uma produção anual média, mas não considera as variações diárias e sazonais na geração de energia solar e eólica.

Esta análise preliminar do ROI fornece uma noção geral da rentabilidade do investimento, mas não leva em conta todos os detalhes, como a variação da produção ao longo do ano e outros fatores específicos do projeto. É uma ferramenta útil para avaliação inicial, mas análises mais detalhadas e consultas a especialistas em energia solar e eólica são recomendadas para uma decisão informada sobre o investimento em sistemas de painéis solares e aerogeradores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados parciais obtidos por meio da análise dos dados relacionados ao uso de energia proveniente de sistemas fotovoltaicos e aerogeradores dos principais países selecionados, com foco nos aspectos financeiros e ambientais. As análises são realizadas com auxílio da ferramenta Microsoft Excel.

4.1 PANORAMA DOS PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE ENERGIA SOLAR

Os principais produtores de energia solar do mundo são: China, Estados Unidos, Índia, Japão e Alemanha (IRENA, 2021; IEA, 2021).

A China é o maior produtor e consumidor de energia solar do mundo. O país é líder em investimentos em energia renovável e tem implementado políticas para acelerar a transição para uma matriz energética mais limpa. Em 2020, a China instalou cerca de 48 GW de energia solar, o equivalente a 60% da capacidade solar global adicionada naquele ano (IRENA, 2021; IEA, 2021)

Os Estados Unidos têm o segundo maior mercado de energia solar do mundo e são líderes em pesquisa e desenvolvimento de tecnologias solares. O país tem um grande potencial para energia solar, com regiões ensolaradas e vastas áreas de terra. Em 2020, o país instalou cerca de 19 GW de energia solar, um aumento de 43% em relação a 2019 (IEA, 2021).

A Índia é um dos países com maior potencial para energia solar, com altos níveis de radiação solar e grande consumo de energia. O país tem implementado políticas para promover a energia renovável, incluindo metas ambiciosas para expansão da capacidade solar. Em 2020, o país instalou cerca de 5 GW de energia solar (IRENA, 2021).

O Japão tem uma matriz energética diversificada e tem buscado aumentar a participação de fontes renováveis, especialmente após o desastre nuclear de Fukushima em 2011 (IEA, 2021). Apesar dos desafios enfrentados, o país adotou diversas políticas e mecanismos de incentivo para impulsionar a produção de energia solar fotovoltaica e alcançar essa posição proeminente (STEFANELLO; MARANGONI; ZEFERINO, 2018)

A Alemanha é líder em energia solar na Europa e tem uma longa história de investimentos em tecnologias renováveis (IRENA, 2021). Para acelerar a expansão da energia solar na Alemanha, desenvolveu-se medidas específicas para sistemas fotovoltaicos em áreas industriais e comerciais e simplificações no código de construção, bem como o fortalecimento dos chamados sistemas fotovoltaicos agrícolas para expandir mais os sistemas de espaço aberto (BMWK, 2022).

4.1.1 Energia solar no Brasil

O Brasil tem um grande potencial para a produção de energia solar, dada sua localização geográfica privilegiada e alta incidência de irradiação solar durante todo o ano. Além disso, a matriz energética do país é predominantemente baseada em fontes renováveis, como hidrelétricas e biomassa (ANEEL, 2023).

Nos últimos anos, a capacidade instalada de energia solar no Brasil tem crescido significativamente. Em 2020, a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica atingiu 7,4 GW, um aumento de 61% em relação ao ano anterior. Segundo projeções da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a capacidade instalada de energia solar no país poderá chegar a 25 GW até 2025, o que representaria cerca de 10% da matriz elétrica brasileira (ABSOLAR, 2020).

Além disso, o Brasil tem implementado políticas para fomentar a energia solar, como a Lei nº 13.169/2015, que estabelece incentivos fiscais para empresas que investem em energia solar e outras fontes renováveis. Em 2020, o país também leiloou cerca de 2,1 GW de energia solar, o que demonstra o interesse do mercado em investir nessa fonte de energia limpa e renovável (MME, 2020).

No entanto, apesar do grande potencial e do crescimento da capacidade instalada, o Brasil ainda enfrenta desafios para a expansão da energia solar. Sendo um dos principais entraves é a falta de incentivos para a geração distribuída, que é aquela gerada em pequenas instalações, como residências e empresas (ANEEL, 2023).

4.1.2 Potência instalada: Painéis fotovoltaicos

A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia renovável cada vez mais popular em todo o mundo, com muitos países investindo em sua expansão para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e promover a sustentabilidade ambiental (AIE, 2021). Com base em dados fornecidos pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA), é apresentado na Tabela 1 e um gráfico que mostram a capacidade instalada de energia solar fotovoltaica em seis países: China, Estados Unidos, Índia, Japão, Alemanha e Brasil, até o final de 2021.

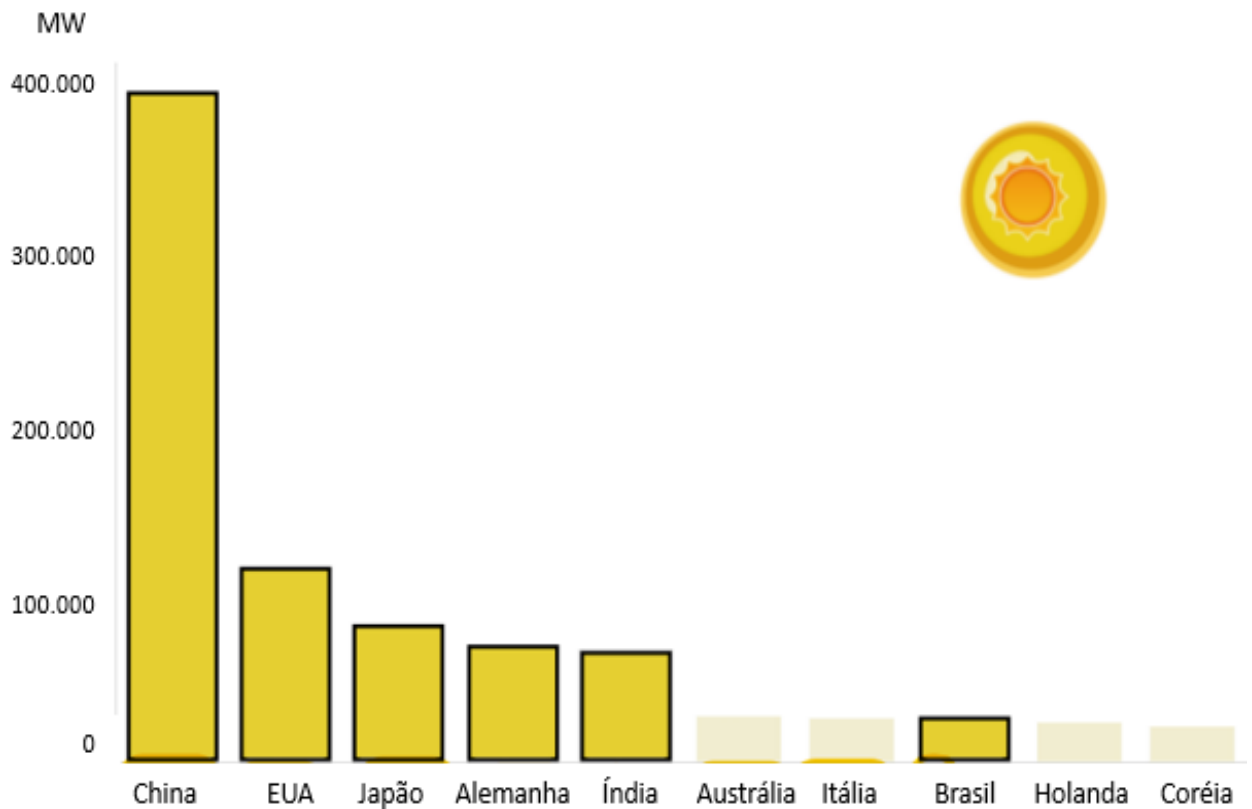
Tabela 1 – Potência instaladas de painéis fotovoltaicos.

País	Potência instalada (GW)
China	393,0
Estados Unidos	113,0
Índia	63,1
Japão	78,8
Alemanha	66,5
Brasil	24,1

Fonte: IRENA (2023)

Na Figura 12 é mostrada o ranking dos países com mais energia solar instalada no mundo (IRENA, 2023).

Figura 12 – Gráfico de potência instalada de painéis fotovoltaicos (MW)



Fonte: Adaptado da IRENA (2023)

4.2 PRINCIPAIS PAÍSES PRODUTORES DE ENERGIA EÓLICA DO MUNDO

Os principais países produtores de energia eólica do mundo, de acordo com o Global Wind Energy Council (GWEC) em 2021, são, em ordem decrescente de potência instalada: China, Estados Unidos, Alemanha, Índia e Espanha.

A China é responsável por mais de 40% da capacidade de potência eólica instalada mundial, com cerca de 281 GW em 2020. O país tem investido significativamente em energia renovável, visando reduzir sua dependência de combustíveis fósseis e combater a poluição do ar (GWEC, 2021).

Os Estados Unidos são o segundo maior produtor de potência instalada de aerogerador do mundo, com uma capacidade instalada de cerca de 120 GW em 2020. O país tem incentivado a transformação de energia renovável por meio de incentivos fiscais e políticas de apoio ao setor (GWEC, 2021).

A Alemanha, com uma capacidade de potência instalada de cerca de 62 GW, é o terceiro maior produtor de potência eólica do mundo, representando cerca de 10% da capacidade instalada mundial. O país tem uma das matrizes energéticas mais limpas da Europa, com grande ênfase em fontes renováveis (GWEC, 2021).

A Índia é o quarto maior produtor de energia eólica do mundo, com cerca de 38 GW de capacidade instalada em 2020. O país tem investido em energia renovável para atender à crescente demanda por energia e reduzir sua dependência de combustíveis fósseis. (GWEC, 2021).

Por fim, a Espanha é um dos maiores produtores de energia eólica da Europa, com uma capacidade instalada de cerca de 27 GW em 2020. O país tem incentivado a produção de energia renovável por meio de políticas de apoio ao setor (GWEC, 2021).

4.2.1 A energia eólica no Brasil

O Brasil também tem um grande potencial para a produção de energia eólica, principalmente nas regiões Nordeste e Sul do país. Em 2020, a capacidade instalada de potência eólica no Brasil era de cerca de 19 GW, o que representava cerca de 10% da capacidade instalada de produção de energia elétrica no país. A energia eólica é a segunda fonte de geração de energia elétrica no Brasil, ficando atrás apenas da hidrelétrica (EPE, 2021).

A Bahia é o estado brasileiro com maior capacidade instalada de energia eólica, representando cerca de 30% da capacidade total do país. Em seguida, estão os estados do Rio Grande do Norte, Ceará e Rio Grande do Sul, que juntos respondem por cerca de 70% da capacidade instalada de energia eólica no Brasil (ABEEólica, 2022).

A produção de energia eólica no Brasil tem sido impulsionada por leilões realizados pelo governo federal, que incentivam a construção de novos parques eólicos. Desde 2009, já foram realizados 16 leilões exclusivos para a fonte eólica, que resultaram em um investimento total de mais de R\$ 87 bilhões em novos projetos (MME, 2021).

Além disso, o Brasil possui uma das maiores indústrias de equipamentos para energia eólica da América Latina, com empresas nacionais fabricando turbinas eólicas e outros componentes para o mercado interno e para exportação (ABEEólica, 2022).

4.2.2 Potência instalada: Aerogeradores

A energia eólica está desempenhando um papel importante na produção de energia em todo o mundo. É um recurso renovável que tem atraído a atenção de vários países, que buscam aumentar suas capacidades instaladas (AIE, 2021; BloombergNEF, 2021).

A Tabela 2 pode-se observar capacidade de potência instalada de aerogeradores em nos países selecionados, de acordo com base em dados fornecidos pela Agência Internacional de Energia Renovável (IRENA). Esses dados refletem os esforços de diversos países em adotar fontes de energia mais limpas e sustentáveis.

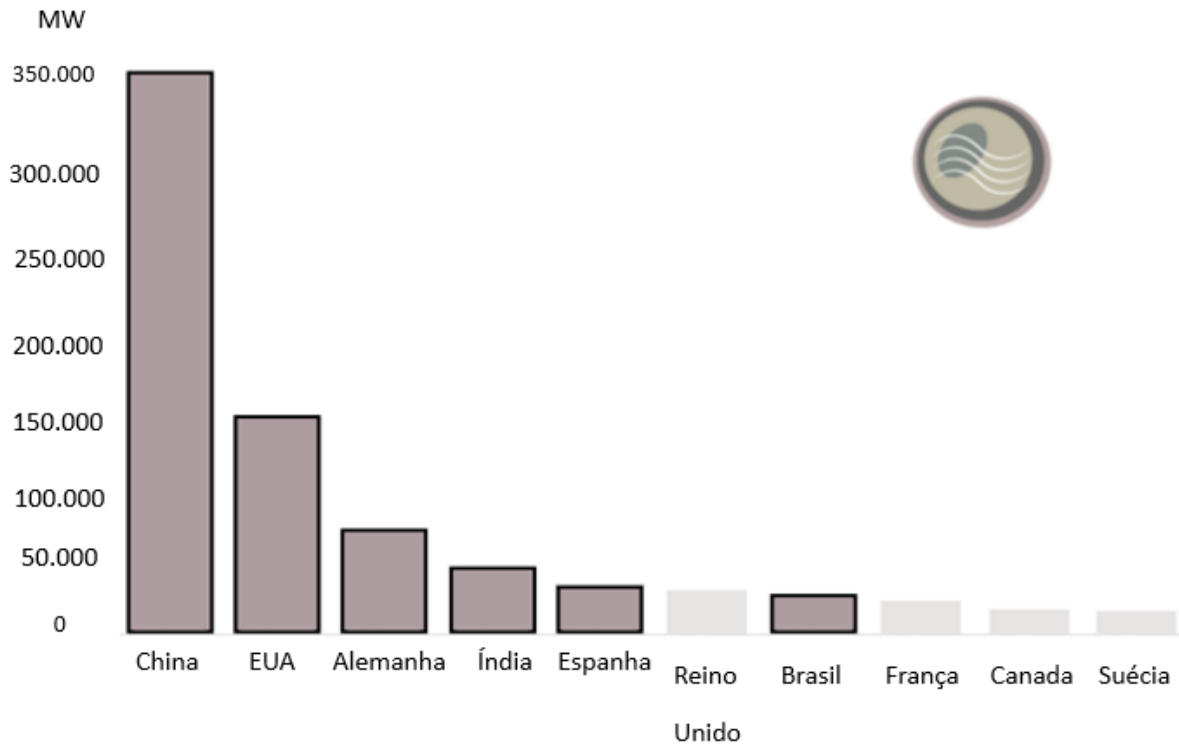
Tabela 2 – Potência instalada de aerogeradores.

Pais	Potência instalada (GW)
China	365,9
Estados Unidos	140,8
Alemanha	66,3
Índia	41,9
Espanha	29,3
Brasil	24,2

Fonte: IRENA (2023)

Na Figura 13 ilustra-se o ranking dos países com mais potência eólica instalada no mundo (IRENA, 2023).

Figura 13 – Gráfico de potência instalada de aerogeradores (MW)



Fonte: Adaptado da IRENA (2023)

4.3 CUSTOS

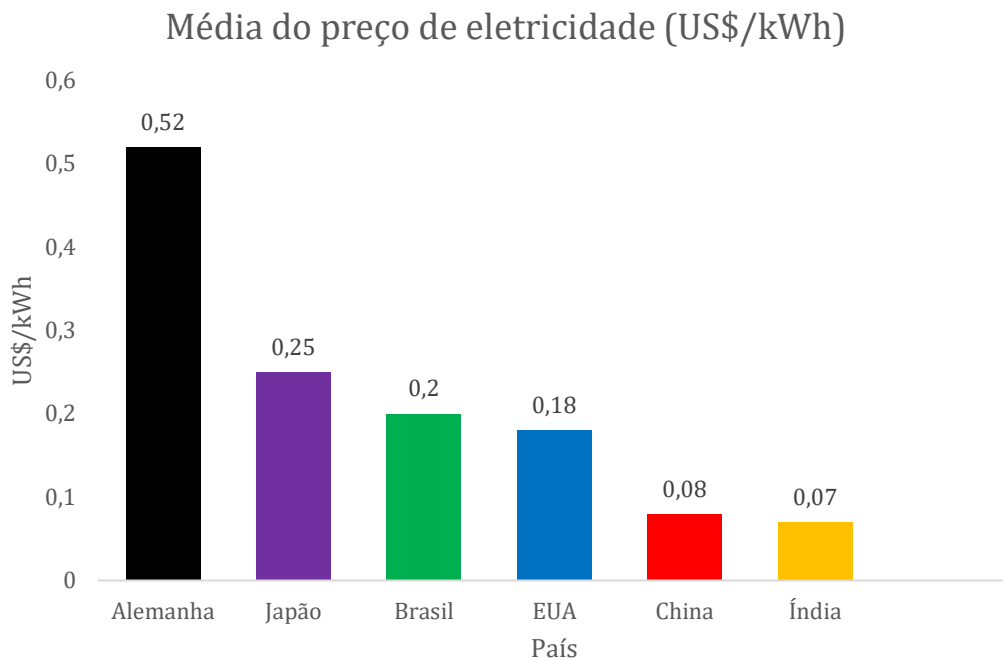
4.3.1 Da energia elétrica

O preço da eletricidade varia significativamente em todo o mundo, dependendo de vários fatores, como a fonte de energia predominante, a infraestrutura de energia existente, a necessidade local e as políticas governamentais em relação ao setor de energia (WORLD BANK, 2020).

De acordo com dados do Banco Mundial de 2020, a média global do preço da eletricidade para consumo residencial é de cerca de 0,14 dólares por quilowatt-hora (kWh). No entanto, há uma ampla variação regional, com preços mais altos na Europa Ocidental, Japão e Austrália, e preços mais baixos em países como China, Rússia e Brasil.

Na Figura 14, apresenta-se um gráfico ilustrativo que demonstra o preço médio da energia elétrica nos países selecionados.

Figura 14 – Preço da energia elétrica



Fonte: Elaborado pelo autor com dados da Statista (2023)

4.3.2 Custo inicial para instalação: Pannel fotovoltaico

A energia solar é uma das fontes de energia renovável que mais tem crescido nos últimos anos, com uma capacidade instalada global de mais de 800 GW em 2021, segundo dados da Agência Internacional de Energia (IEA, 2021).

No entanto, o custo inicial de implantação de sistemas solares pode variar significativamente entre os países, devido a fatores como políticas governamentais, disponibilidade de recursos e tecnologias utilizadas (ABSOLAR, 2021).

Para entender melhor essa variação de custos, foram reunidas informações sobre o custo inicial médio de implantação de sistemas solares, escolheu-se um padrão de sistema de 5 kWp, em seis países: China, EUA, Índia, Japão, Alemanha e Brasil. Na Tabela 3 fornece-se informações sobre o custo médio inicial por kWp para a implantação de sistemas solares em cada um dos países mencionados.

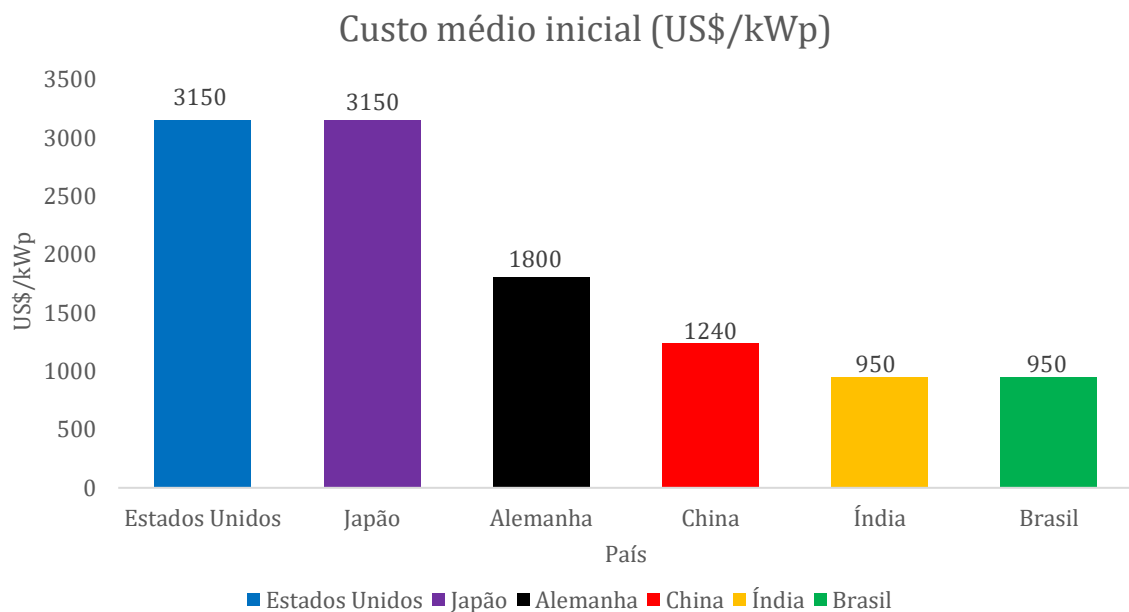
Tabela 3 – Custo inicial de instalação por kWp de painéis fotovoltaicas.

País	Custo inicial (US\$/kWp)	Custo médio inicial (US\$/kWp)
China	930 - 1550	1240
Estados Unidos	2800 – 3500	3150
Índia	750 – 1150	950
Japão	2700 – 3600	3150
Alemanha	1600 - 2000	1800
Brasil	800 – 1100	950

Fonte: IRENA, SEIA, Bridge to India, AEEJ, Ministério Federal de Economia e Energia da Alemanha, ABSOLAR (2023)

Para melhor visualização do custo de instalação por kWp, o gráfico da Figura 15 foi plotado utilizando os valores presentes na Tabela 3.

Figura 15 – Custo inicial de instalação por kWp de painéis fotovoltaicas.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de IRENA, SEIA, Bridge to India, AEEJ, Ministério Federal de Economia e Energia da Alemanha, ABSOLAR (2023)

4.3.2.1. Cálculo do retorno sobre o investimento (ROI): Painel fotovoltaico

Com base nos valores anteriores de custo inicial da instalação de painel fotovoltaico e custo do preço da eletricidade por kWh, pode-se calcular o ROI para cada país. Supondo que o período de análise seja de um ano e que a usina tenha uma capacidade de 5 kWp, pode-se calcular o ROI utilizando a equação (1).

Na Tabela 4 são exibidos os resultados do cálculo detalhado do retorno sobre o Investimento (ROI) para a China, EUA, Índia, Japão, Alemanha e Brasil. Esses cálculos estão apresentados em detalhes no Apêndice A.

Tabela 4 – ROI de cada país do painel fotovoltaico

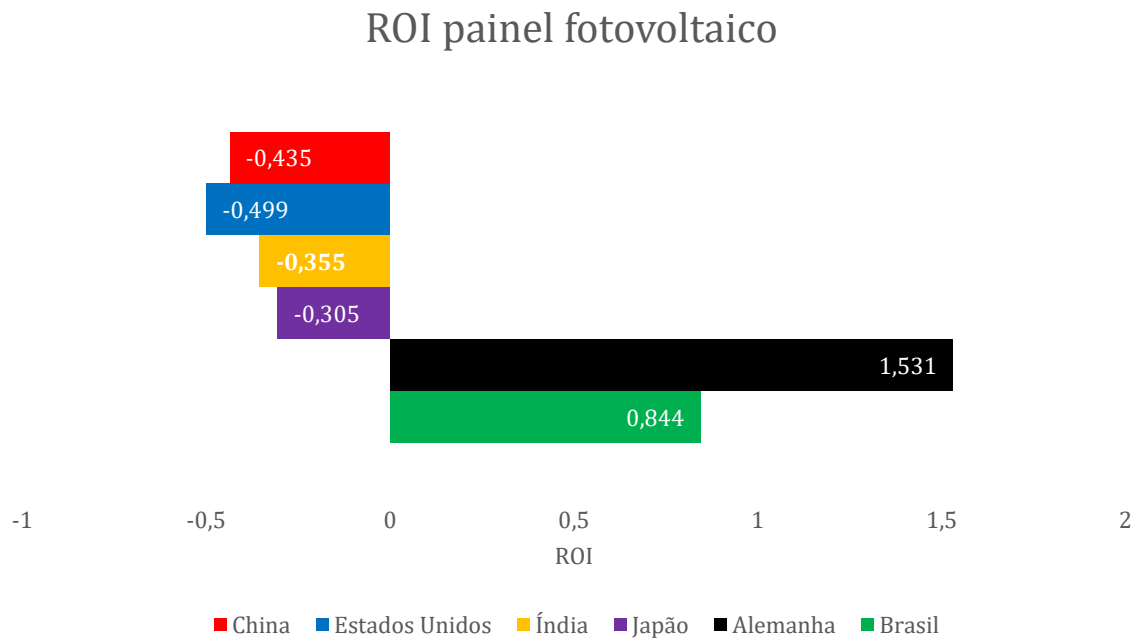
País	ROI
China	-0,435
Estados Unidos	-0,499
Índia	-0,355
Japão	-0,305
Alemanha	1,531
Brasil	0,844

Fonte: Produção do próprio autor

Quando o ROI é maior que 1, indica que o investimento obteve lucro. Quanto maior o valor do ROI, melhor é o retorno em relação ao custo do investimento. Enquanto o ROI é menor que 1 indica que o investimento teve prejuízo. Isso significa que o custo do investimento superou o lucro obtido.

A Figura 16 ilustra-se uma análise comparativa entre o Retorno sobre o Investimento (ROI) para a China, EUA, Índia, Japão, Alemanha e Brasil. Por meio desse indicador é possível observar as diferenças entre as nações no que diz respeito ao retorno financeiro ao longo do tempo. Além disso, o ROI abrange os valores relacionados à aquisição e instalação dos painéis fotovoltaicos, representando um aspecto importante para os potenciais investidores.

Figura 16 – Gráfico do ROI de painel fotovoltaico.



Fonte: Produção do próprio autor

4.3.3 Custo inicial para instalação: Aerogeradores

De acordo com o Global Wind Energy Council (2021), a energia eólica é uma das fontes de energia renovável de mais rápido crescimento em todo o mundo. No entanto, uma das principais barreiras para a adoção em larga escala da energia eólica é o custo inicial dos aerogeradores (GWEC, 2021).

Para entender melhor essa variação de custos iniciais dos sistemas eólicos, foi elaborada a Tabela 5 com o custo inicial médio de implantação de sistemas eólicos em seis países: China, EUA, Alemanha, Índia, Espanha e Brasil.

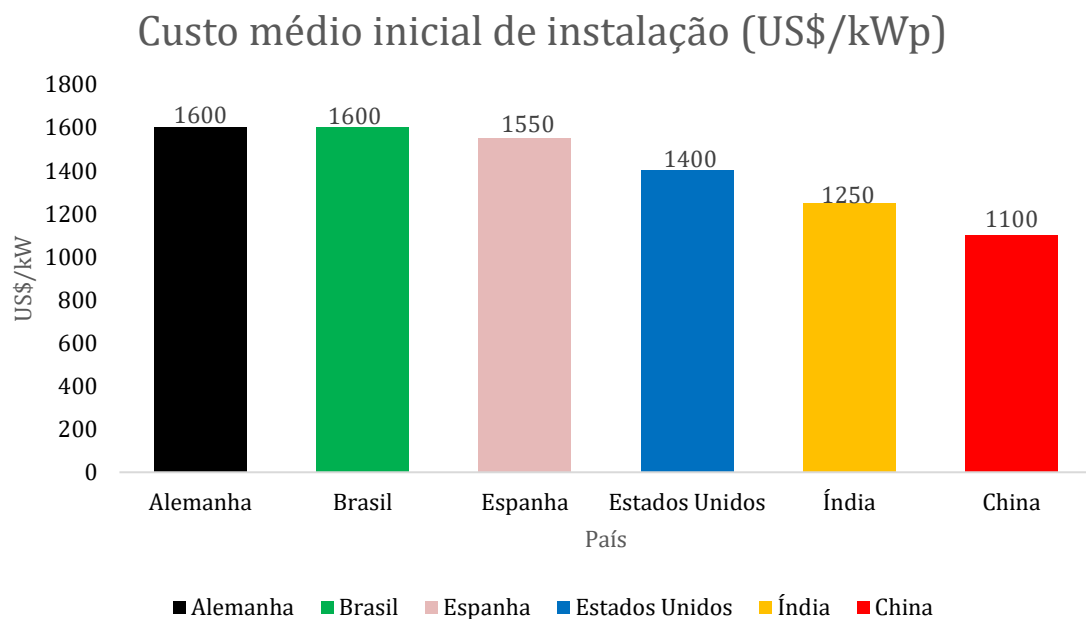
Tabela 5 - Custo inicial dos aerogeradores

País	Custo inicial (US\$/kW)	Custo médio inicial (US\$/kW)
China	1000 - 1200	1100
Estados Unidos	1100 – 1700	1400
Alemanha	1400 – 1800	1600
Índia	1100 – 1400	1250
Espanha	1300 – 1800	1550
Brasil	1400 - 1800	1600

Fonte: Global Wind Energy Council, National Renewable Energy Laboratory, WindEurope, Ministry of New and Renewable Energy, Associação Brasileira de Energia Eólica (2023)

Para uma visualização mais clara do custo de instalação por kWp, apresenta-se a Figura 17, utilizando os valores da Tabela 6.

Figura 17 - Custo inicial dos aerogeradores



Fonte: Elaborado pelo autor com dados de Global Wind Energy Council, National Renewable Energy Laboratory, WindEurope, Ministry of New and Renewable Energy, Associação Brasileira de Energia Eólica (2023)

4.3.3.1. Cálculo do retorno sobre o investimento (ROI): Aerogeradores

Com base nos valores anteriores de custo inicial da instalação de aerogeradores e custo do preço da eletricidade por kWh, pode-se calcular o ROI para cada país. Supondo que o período de análise seja de um ano e que a usina tenha uma capacidade de 5 kW, pode-se calcular o ROI utilizando a equação (1):

A Tabela 6 exibe o Retorno sobre o Investimento (ROI) da China, EUA, Alemanha, Índia, Espanha e Brasil. Os cálculos detalhados desses valores são apresentados no Apêndice B.

Tabela 6 – ROI do aerogerador

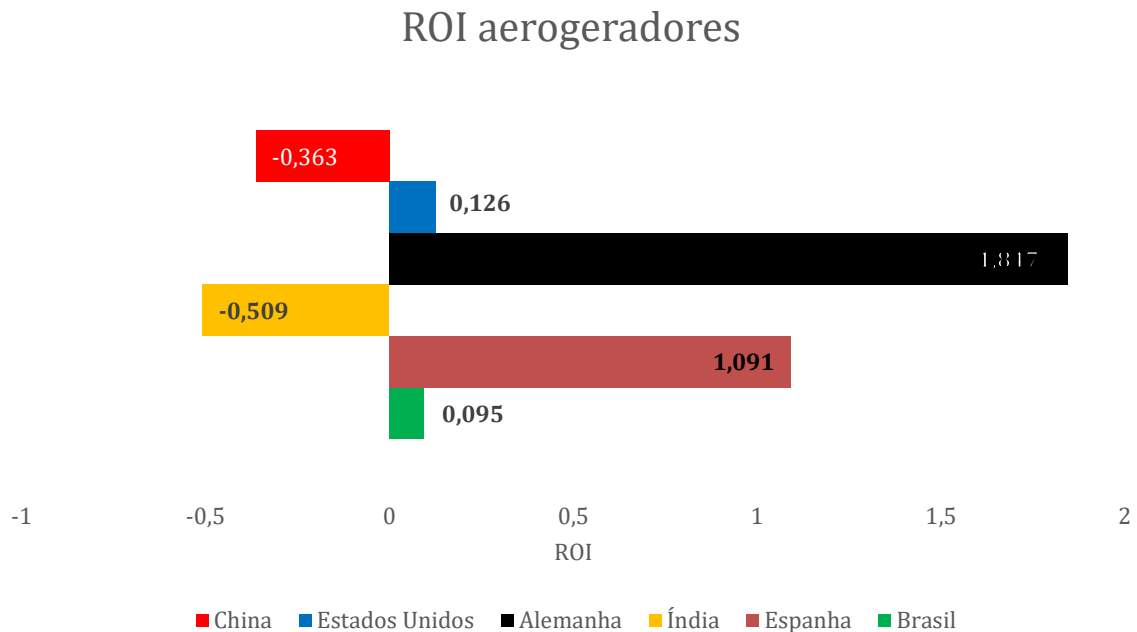
País	ROI
China	-0,363
Estados Unidos	0,126
Alemanha	1,847
Índia	-0,509
Espanha	1,091
Brasil	0,095

Fonte: Produção do próprio autor

A Figura 18 ilustra uma análise comparativa do retorno sobre o investimento (ROI) dos aerogeradores. Esses indicadores fornecem informações sobre a instalação de aerogeradores em diferentes partes do mundo.

Além disso, a média de custo inicial engloba os valores relacionados à aquisição e instalação dos aerogeradores, o que é fundamental para os potenciais investidores. Ao examinar esses dados, pode-se identificar tendências e padrões emergentes nos diferentes países, proporcionando informações relevantes sobre a adoção e o desenvolvimento da energia eólica em escala global.

Figura 18 - Gráfico do ROI do aerogerador



Fonte: Produção do próprio autor

Lembrando que os cálculos realizados visa apresentar uma análise preliminar do ROI em sistemas de painéis solares, reconhecendo as limitações inerentes ao cálculo, incluindo a premissa de 8.760 horas em um ano para comparação padronizada. A utilização dessa premissa facilita cálculos e comparações simplificados, mas deve ser complementada por análises mais detalhadas em cenários práticos.

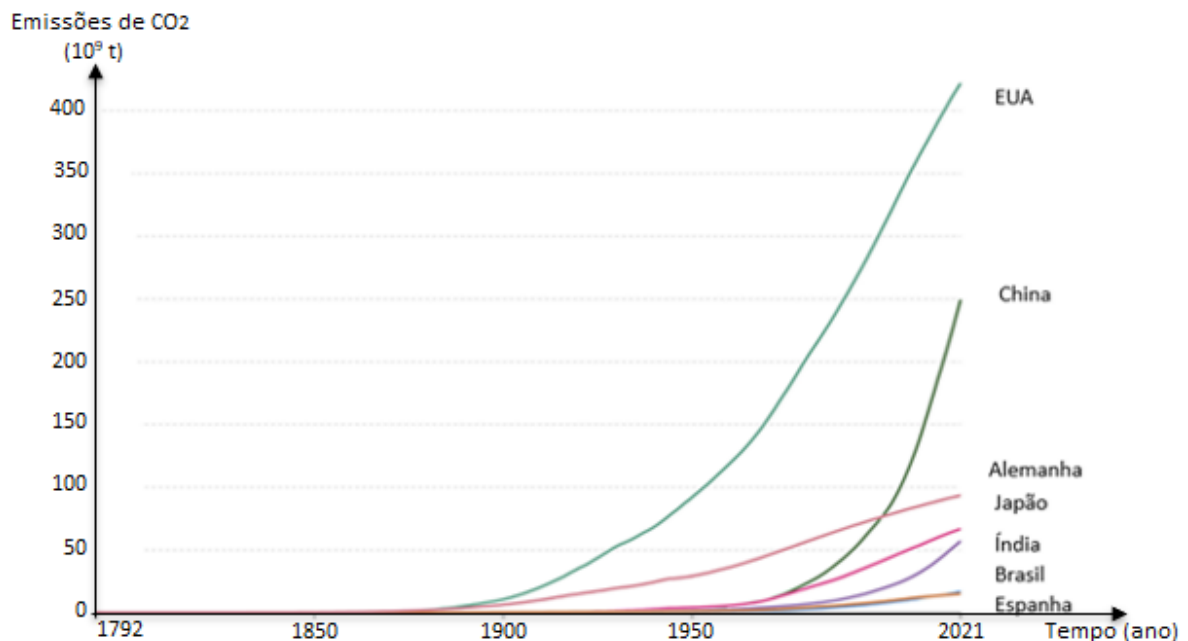
Para realizar a análise do ROI, é fundamental levar em consideração a capacidade instalada do sistema de painéis solares, que no caso aqui discutido é de 5 kWp (quilowatts-pico). Esse valor representa a capacidade máxima do sistema de gerar energia em condições ideais, mas é importante destacar que a produção real de eletricidade pode variar significativamente ao longo do ano devido a fatores como a disponibilidade de luz solar, disponibilidade do vento, a localização geográfica e as condições climáticas.

4.4 EMISSÃO DE CO₂ NOS PAÍSES SELECIONADOS

Quando a análise se concentra somente nas emissões atuais, é negligenciada a responsabilidade histórica das emissões acumuladas ao longo das últimas décadas ou séculos (RITCHIE; ROSER; ROSADO, 2020).

A Figura 19 ilustra as emissões cumulativas de dióxido de carbono (CO₂). Essas emissões cumulativas representam a soma das emissões correntes de CO₂ provenientes de combustíveis fósseis e da indústria, abrangendo o período de 1750 a 2021. Tal representação nos oferece uma compreensão sobre a proporção das emissões totais de CO₂ atribuídas a cada país analisado neste estudo.

Figura 19 – Cumulativo: quanto CO₂ produziu até 2021

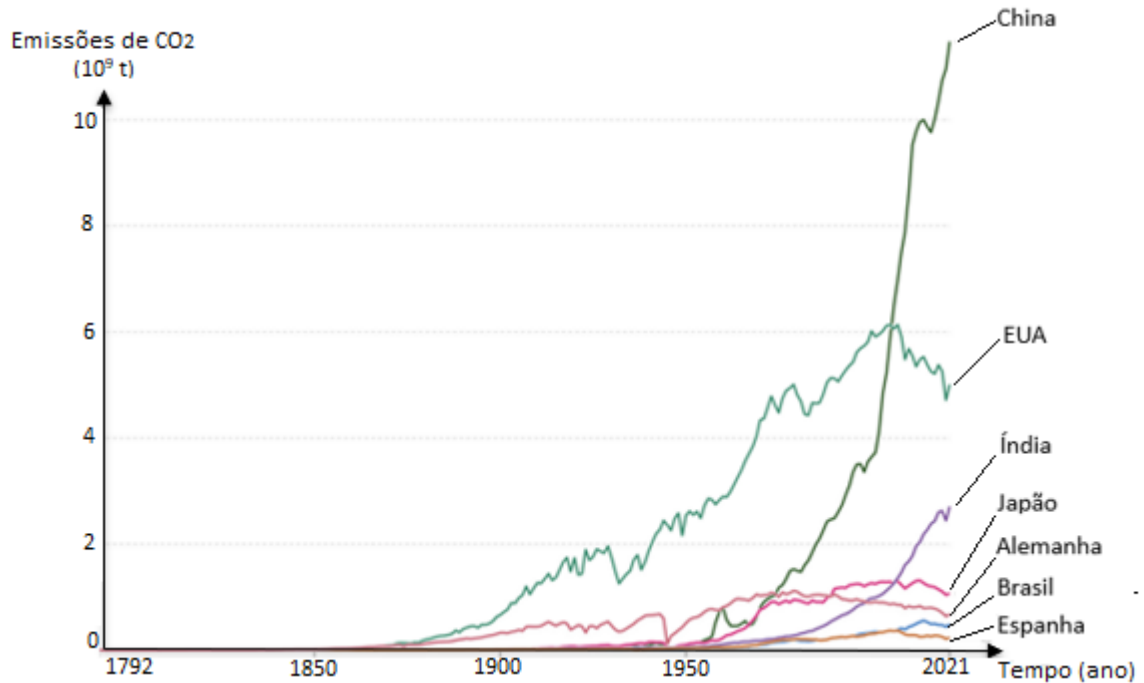


Fonte: Adaptado da Our World In Data (2023)

De acordo com o relatório da Agência Internacional de Energia (AIE, 2020), as emissões de dióxido de carbono (CO₂) provenientes de combustíveis fósseis e da indústria desempenham um papel fundamental como um dos principais fatores de contribuição para o fenômeno do aquecimento global e para as mudanças climáticas que afetam nosso planeta. Tal constatação é respaldada pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2021) e outros organismos relevantes, ressaltando a importância dessas emissões no contexto dos efeitos significativos e generalizados observados.

As emissões de CO₂ são medidas em toneladas por ano e são monitoradas por várias agências governamentais e organizações internacionais. (AIE, 2020)

A Figura 20 ilustra com emissões de dióxido de carbono provenientes de combustíveis fósseis e da indústria.

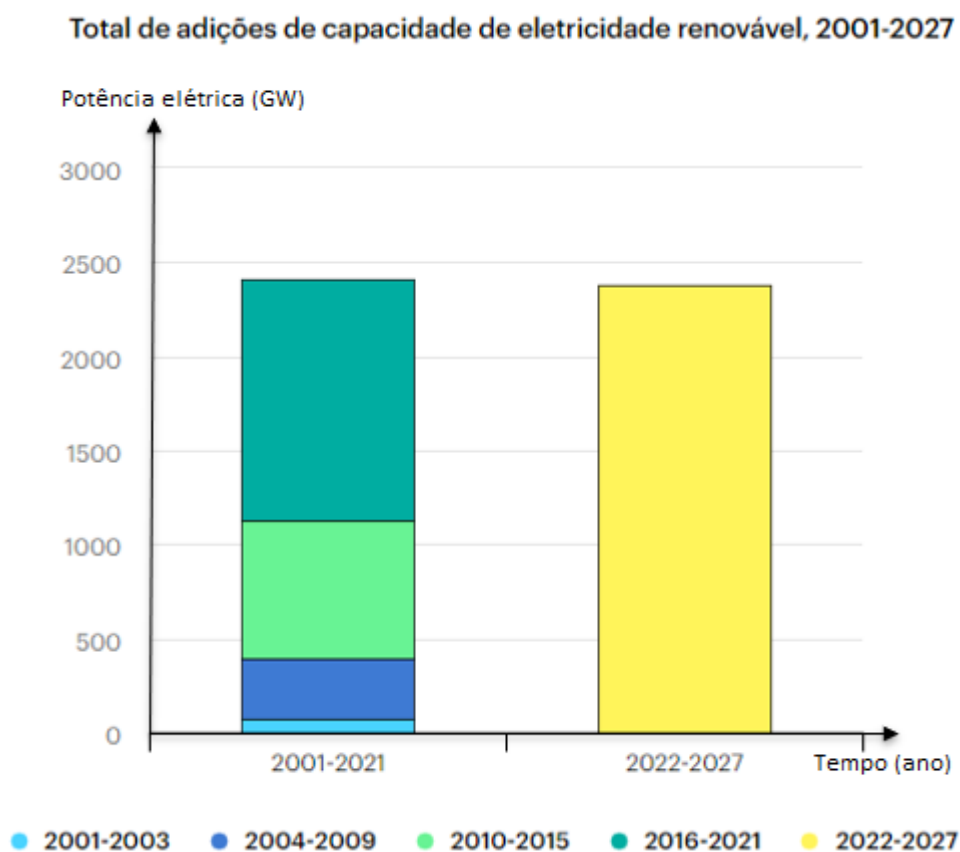
Figura 20 – Emissões anuais de CO₂

Fonte: Adaptado da Our World In Data (2023)

4.5 PANORAMA GERAL DE ENERGIA RENOVÁVEIS: PROJEÇÃO E INVESTIMENTO

Durante o período de 2022 a 2027, estima-se que as fontes de energia renovável cresçam em cerca de 2.400 GW, de acordo com nossa principal projeção. Essa quantidade é equivalente a toda a capacidade de energia atualmente instalada na China. Essa perspectiva representa um aumento de 85% em relação aos cinco anos anteriores e quase 30% a mais do que havia sido previsto no relatório do ano passado. Essa revisão é a maior que já fizemos até o momento (IEA, 2022).

Figura 21 – Total de adição de capacidade de eletricidade renovável de 2001 até 2027



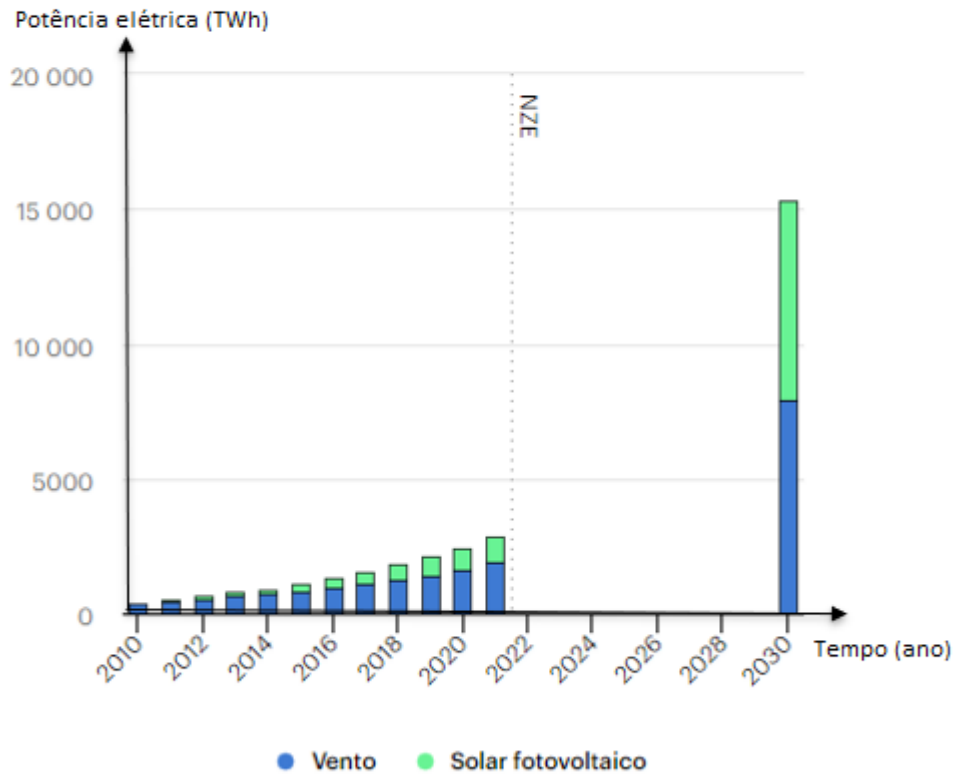
Fonte: Adaptado da IEA (2023)

Nos últimos anos, a energia solar fotovoltaica tem se destacado como a tecnologia de crescimento mais rápido em termos de aumento de capacidade. No entanto, mesmo com o recorde de 150 GW adicionados em 2021, esse valor representa apenas cerca de um terço das adições médias anuais esperadas durante o período de 2022 a 2030 (IEA, 2022)

No caso da eólica, a média anual de instalações precisa dobrar a verificada em 2021 (IEA,2022). A Figura 22 ilustra a energia renovável por tecnologia.

Figura 22 – Geração de energia renovável por tecnologia de 2010 até 2030

Geração de energia renovável por tecnologia no Cenário Net Zero, 2010-2030

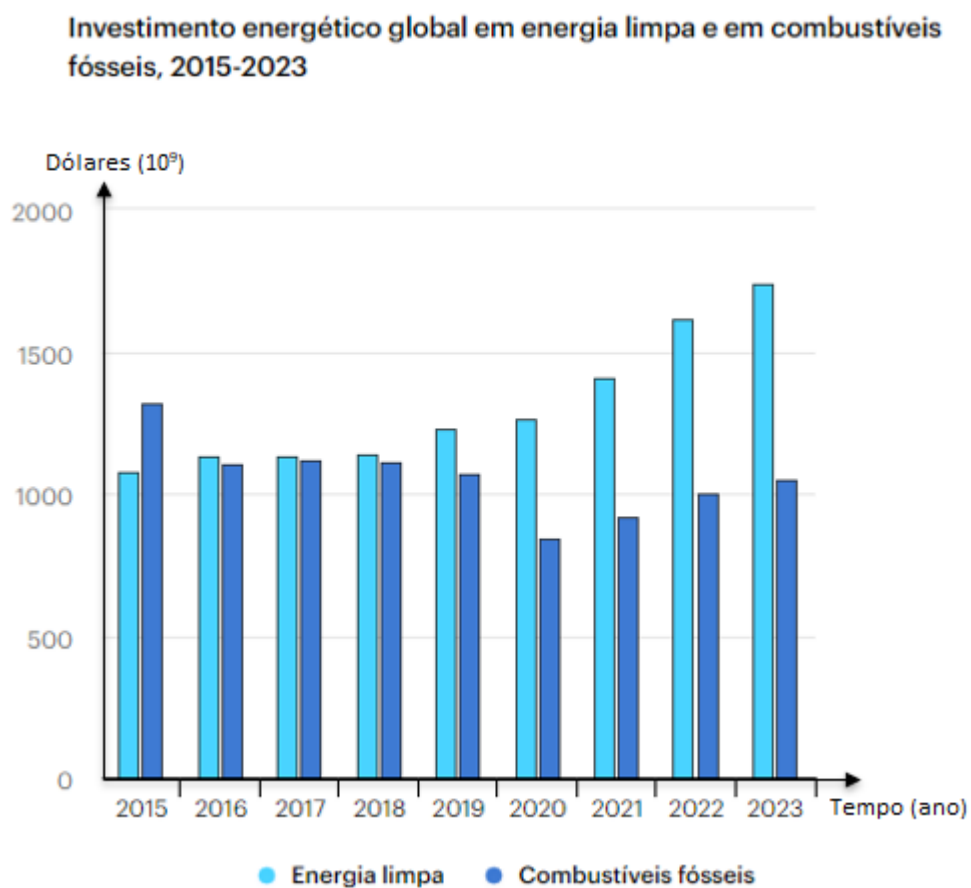


Fonte: Adaptado da IEA (2023)

A recuperação pós-pandemia de Covid-19 e a necessidade de enfrentar a crise global de energia impulsionaram significativamente o investimento em energia limpa em todo o mundo, que ultrapassou a marca de US\$ 1,7 trilhão em 2022. Agora, para cada dólar gasto em combustíveis fósseis, aproximadamente US\$ 1,70 está sendo investido em energia limpa. Há cinco anos, essa proporção era de 1:1. A expectativa é que o investimento em energia limpa continue crescendo em 2023, impulsionado principalmente pelo setor de energia solar fotovoltaica e eólica (IEA, 2022)

Na Figura 23 observa-se o investimento global em energia limpa e em combustíveis fósseis de 2015 até 2023.

Figura 23 – Investimento energético global em energia limpa e em combustíveis fósseis de 2015 até 2023.



Fonte: Adaptado da IEA (2023)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o objetivo inicial deste trabalho, o qual é a análise temporal dos aspectos técnicos, financeiros e ambientais de sistemas de geração de energia elétrica por painéis fotovoltaicos e por aerogeradores, assim foi realizado.

Análise dos resultados obtidos por meio dos dados relacionados ao uso de energia proveniente de sistemas fotovoltaicos e aerogeradores dos principais países selecionados revelou o crescimento de investimentos e a preocupação da diminuição de emissões de CO₂.

Ao examinar o panorama dos principais países produtores de energia solar, destacou-se a liderança da China, seguida pelos Estados Unidos, Índia, Japão e Alemanha. Esses países têm demonstrado um compromisso claro com a expansão da energia solar, tanto em termos de investimentos quanto de políticas de transição energética. Essa liderança é um reflexo do reconhecimento global da importância da energia solar como uma alternativa viável e sustentável aos combustíveis fósseis.

No contexto brasileiro, observou-se um potencial significativo para a produção de energia solar, devido à localização geográfica privilegiada do país e à sua matriz energética predominantemente baseada em fontes renováveis. O Brasil tem experimentado um crescimento considerável na capacidade instalada de energia solar fotovoltaica nos últimos anos, impulsionado por incentivos fiscais, leilões e metas ambiciosas para expansão da capacidade. Apesar disso, a falta de incentivos para a geração distribuída tem sido um desafio para a expansão da energia solar no país.

No que diz respeito à energia eólica, os principais países produtores incluem a China, Estados Unidos, Alemanha, Índia e Espanha. Esses países têm investido em energia renovável, reconhecendo o potencial da energia eólica para reduzir as emissões de gases de efeito estufa e diversificar suas matrizes energéticas. No Brasil, a energia eólica tem se destacado como a segunda fonte de geração de energia elétrica, com uma capacidade instalada significativa nas regiões Nordeste e Sul do país.

Em relação aos custos, foi observado que o preço da eletricidade varia amplamente entre os países selecionados, refletindo diferenças nas fontes de energia predominantes, infraestrutura de energia, necessidade local e políticas governamentais. Os custos iniciais de instalação de sistemas fotovoltaicos também apresentam variações consideráveis, dependendo de fatores como políticas governamentais, disponibilidade de recursos e tecnologias utilizadas.

Em termos de retorno sobre o investimento (ROI), os sistemas fotovoltaicos e aerogeradores têm demonstrado serem investimentos financeiramente atraentes a longo prazo, pois há países que com ROI maior que zero para Alemanha e Brasil no sistema de fotovoltaico e Alemanha, Espanha, EUA e Brasil para aerogerador o que indica que nesses países há um retorno de investimento em apenas um ano. Embora os custos iniciais possam ser significativos, os benefícios econômicos ao longo da vida útil dessas tecnologias podem compensar os investimentos iniciais.

Além disso, a redução dos custos de instalação e o aumento da eficiência das tecnologias renováveis têm contribuído para melhorar ainda mais o ROI desses sistemas.

O ROI dos sistemas fotovoltaicos e aerogeradores não se limita apenas aos benefícios financeiros. Essas tecnologias também oferecem impactos ambientais positivos, reduzindo as emissões de gases de efeito estufa e diminuindo a dependência de combustíveis fósseis não renováveis. A transição para fontes de energia limpa é essencial para enfrentar os desafios das mudanças climáticas e promover a sustentabilidade.

As tecnologias de energia solar e energia eólica podem ser quantificados em termos de redução de emissões de carbono, diminuição da poluição atmosférica e preservação dos recursos naturais. Ao adotar sistemas fotovoltaicos e aerogeradores, as empresas e governos contribuem para um futuro mais sustentável, ao mesmo tempo em que se beneficiam economicamente. Ademais, a implementação de sistemas renováveis também pode impulsionar a criação de empregos e promover o desenvolvimento de tecnologias verdes.

No entanto, é importante ressaltar que o ROI dos sistemas fotovoltaicos e aerogeradores pode variar dependendo de diferentes contextos, como políticas governamentais, custos de financiamento, disponibilidade de recursos e condições climáticas. Cada projeto requer uma análise cuidadosa e personalizada para determinar o ROI específico.

Diante do panorama global de transição energética, é evidente que os sistemas fotovoltaicos e aerogeradores desempenham um papel crucial na construção de um futuro mais sustentável e resiliente. O ROI dessas tecnologias, tanto em termos financeiros quanto ambientais, torna-as investimentos promissores para empresas, governos e indivíduos que buscam uma energia mais limpa, econômica e sustentável.

Portanto, ao considerar a implementação de sistemas fotovoltaicos e aerogeradores, é fundamental avaliar não apenas os aspectos financeiros, mas também os benefícios ambientais e sociais associados.

5.1 REFERÊNCIAS

ABDALA, P. P. **Energia solar e eólica**. Ponta Grossa (PR): Atena Editora, v. 1, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Luis-Claudio-Lopes-2/publication/330670469_DESENVOLVIMENTO_DE_UM_APLICATIVO_PARA_DIMENSIONAMENTO_DE_SISTEMAS_DE_GERACAO_FOTOVOLTAICA/links/61573918a6fae644fbbe3fad/DESENVOLVIMENTO-DE-UM-APLICATIVO-PARA-DIMENSIONAMENTO-DE-SISTEMAS-DE-GERACAO-FOTOVOLTAICA.pdf. Acesso em: 15 out. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Energia Solar Fotovoltaica**. Brasília: ANEEL, 2008. Disponível em: http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/cartilha_fotovoltaica.pdf. Acesso em: 26 mar. 2023.

ALVES, D. R. **Energia eólica: fundamentos, tecnologia e aplicação**. São Paulo: Érica, 2005.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Sobre a AIE**. Disponível em: <https://www.iea.org/about>. Acesso em: 26 mar. 2023.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Renewables 2020: Analysis and forecast to 2025**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2020>. Acesso em: 15 de jun. de 2023

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Renewables 2021: Analysis and forecast to 2026**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>. Acesso em: 15 jun. 2023

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Atlas de energia solar do Brasil**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/atlas-energia-solar-do-brasil>. Acesso em: 07 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA. **Informe Energia Solar Fotovoltaica - 2020**. Disponível em: https://www.absolar.org.br/uploads/arquivos/Informe_Absolar_-_Energia_Solar_Fotovoltaica_-_2020.pdf. Acesso em: 07 mar. 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Informações sobre a matriz elétrica brasileira**. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/matriz-eletrica-brasileira>. Acesso em: 07 mar. 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Panorama da energia eólica no Brasil**. Disponível em: <https://abeolica.org.br/panorama-da-energia-eolica-no-brasil/>. Acesso em: 07 mar. 2023.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Renewables 2021: Analysis and forecast to 2026**. Paris: AIE, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021/>. Acesso em: 07 mar. 2023.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **Renewable Energy Statistics 2021**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewable-energy-statistics-2021>. Acesso em: 01 maio 2023.

ASIA EUROPE ENERGY EXCHANGE. **Electricity in Japan**. Disponível em: https://aej.org/jp/en/electricity_in_japan/. Acesso em: 01 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA SOLAR. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. Disponível em: <https://www.absolar.org.br/atlas-solar/>. Acesso em: 01 maio 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA EÓLICA. **Relatório de Emprego na Cadeia da Energia Eólica no Brasil**. Disponível em: <https://www.abeeolica.org.br/admin/public/uploads/relatorio/Relatorio-de-Emprego-na-Cadeia-da-Energia-Eolica-no-Brasil-2021.pdf>. Acesso em: 07 maio 2023.

AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. **CO2 Emissions from Fuel Combustion: Overview**. Paris: OECD/IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-overview-2020>. Acesso em: 07 maio 2023.

ASSAF NETO, A. **Finanças corporativas e valor**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

BARBOSA, V. 2016. **Solar e eólica vão ‘eclipsar’ hidrelétricas no Brasil**. Revista Exame.com. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/economia/solar-e-eolica-va-eclipsar-hidreletricas-no-brasil>. Acesso em: 08 set. 2016

BATISTA, G. V. **Agenda 20230 e ESG: As políticas e as práticas de sustentabilidade nas empresas conscientes. Sustentabilidade**, p. 10. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Helena-Silva-42/publication/361729989_GEODIVERSIDADE_AVALIACAO_E_CLASSIFICACAO_DE_HIDROSSITIO_APLICACAO_NO_SEGMENTO_DO_PARQUE_AMBIENTAL_E_NCONTRO_DOS_RIOS_TERESINA_PIAUI_BRASIL/links/62c1f6340bf6950edea7ddcd/GEODIVERSIDADE-AVALIACAO-E-CLASSIFICACAO-DE-HIDROSSITIO-APLICACAO-NO-SEGMENTO-DO-PARQUE-AMBIENTAL-ENCONTRO-DOS-RIOS-TERESINA-PIAUI-BRASIL.pdf#page=10. Acesso em: 15 out. 2022.

BAER, W. **A economia brasileira**. São Paulo, 1996

BURTON, T.; SHARPE, D.; JENKINS, N.; BOSSANYI, E. **Wind Energy Handbook**. Chichester: John Wiley & Sons, 2001. 642p.

BONA, A. **Retorno sobre investimento (ROI): o que é e como calcular?** Disponível em: <https://andrebona.com.br/retorno-sobre-investimento-roi-o-que-e-e-como-calculer/>. Acessado em: 10 maio 2023

BALLESTRIN, L. et al. **Introdução a Energia Solar Fotovoltaica**. Porto Alegre: Bookman, 2014.

BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE. **Erster Entwurf der Photovoltaik-Strategie vorgestellt**. Disponível em: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/03/20230310-erster-entwurf-photovoltaik-strategie.html>. Acesso em: 02 jun. 2023.

BLOOMBERGNEF. **Solar Energy Research & Analysis**. Disponível em: <https://about.bnef.com/solar-research/>. Acesso em: 01 maio 2023

BLOOMBERGNEF. **Wind Power Capacity**. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/professional/blog/wind-power-capacity/>. Acesso em: 01 maio 2023.

BRIDGE TO INDIA. **India Solar Compass**. Disponível em: <https://www.bridgetoindia.com/india-solar-compass/>. Acesso em: 01 maio 2023.

BRASIL. **Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2021**, 2021a. Rio de Janeiro. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dadosabertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico588/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202021-ab%202020_v2.pdf. Acesso em: 20 jun. 2023.

CRIEKEMANS, D. **The geopolitics of renewable energy: different or similar to the geopolitics of conventional energy? ISA Annual Convention 2011**, Montréal, Québec, Canada. Global Governance: Political Authority in Transition.

PROGRAMA NACIONAL DE RACIONALIZAÇÃO DO USO DOS DERIVADOS DO PETRÓLEO E DO GÁS NATURAL. **Energia renovável**. Disponível em: <https://petronoticias.com.br/category/energias-renovaveis/>. Acesso em: 15 out. 2022.

CONCELHO NACIONAL DE POLÍTICA ENERGÉTICA. **Conselho comitê**. Disponível em: http://www.mmegovbr/mme/menu/conselhos_comite/cnpehtml1997. Acesso em: 15 out. 2022.

CASTRO, R. MG. **Introdução à energia eólica**. Lisboa: Portugal: Universidade Técnica de Lisboa, 2004. Disponível em: http://ead2.ctgas.com.br/a_rquivos/Pos_Tecnico/Especializacao_Energia_Eolica/Medicao_Anemometrica/Material%20de%20Consulta/Livros/Introdu%C3%A7%C3%A3o%20a%20Energia%20E%C3%B3lica.pdf. Acesso em: 16 out. 2022.

CUNHA, E. A. A. et al. **Aspectos históricos da energia eólica no Brasil e no mundo**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 8, n. 4, 2019. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/rber/article/view/65759>. Acesso em: 17 out. 2022.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE S. BRITO. **Fontes de dados eólicos e solares**. Disponível em:

http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=fontes_dados_vento_sol
 acessado em: 10 de jan. 2023

DE OLIVEIRA, A. F. et al. **Políticas, planos e estratégias nacionais para combate às mudanças climáticas.** 2018. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1096349/1/PLPoliticaspianosODS13.pdf>
 f. Acesso em: 15 out. 2022.

DUTRA, R. **Energia eólica: princípios e tecnologia.** Rio de Janeiro: CRESESB, 2008. 58p

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2020.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 15 out. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Empresa de Pesquisa Energética/Empresa de Pesquisa Energética.** Disponível em: <http://www.epe.gov.br>. Acesso em: 15 out. 2022.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Guia de Energia Solar Fotovoltaica para Consumidores Residenciais.** Rio de Janeiro: EPE, 2021. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-351/topico-1189/Guia_Energia_Solar_Fotovoltaica_Consumidores_Residenciais.pdf. Acesso em: 26 mar. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Boletim Mensal de Monitoramento do Sistema Elétrico Brasileiro.** Edição nº 53, dezembro de 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/boletins-mensais-monitoramento-sistema-eletrico-brasileiro/boletim-mensal-monitoramento-sistema-el%C3%A9trico-brasileiro-edicao-n%C2%BA-53-dezembro-2021>. Acesso em: 07 mar. 2023.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Matriz Energética e Elétrica.** Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica#ELETRICA>. Acesso em: 20 maio 2023.

FTHENAKIS, V.; HYUNG C. **Land use and electricity generation: A life cycle analysis.** Renewable and Sustainable Energy Reviews. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032108001354>. Acesso em: 15 out. 2022.

FARRET, F. A.; SIMOES, M. G. **Integration of alternative sources of energy.** [S.l.]: John Wiley & Sons, 2006. 5, 7

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global Wind Report 2021.** Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>. Acesso em: 07 mar. 2023.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. **Global wind report 2021.** Disponível em: <https://gwec.net/global-wind-report-2021/>. Acesso em: 06 maio 2023.

GASPARIN, F. P.; KRENZINGERK, A. **Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel**. Revista Brasileira De Energia Solar, 8(1), 10–17. Disponível em: [//rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/169](http://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/169). Acesso em: 20 jun. 2023.

GARCÍA, A. M. C., BALENZATEGUI, J. L. “**Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on Nominal Operation Cell Temperature calculations**”, Renewable Energy v. 29, pp. 1997–2010, Mar 2004.

HEMETSBERGER, W.; SCHMELA, M.; CHIANETTA, G. **Global Market Outlook for Solar Power**. [S.l.]: Solar Power Europe, 2021.

DE SOUZA, H. M. et al. **Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil**. Revista Brasileira de energia, v. 15, p. 7-26, 2009.

HANNAH R.; MAX R.; PABLO R. **CO₂ and Greenhouse Gas Emissions**. Published online at OurWorldInData.org. Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions>. Acesso em: 15 out. 2022.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Capacity Statistics 2021**. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/Mar/Renewable-Capacity-Statistics-2021>. Acesso em: 26 mar. 2023.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E CONTROLE DE QUALIDADE INDUSTRIAL. **Orientação para o consumidor**. Disponível em: <https://www.gov.br/inmetro/pt-br/assuntos/vigilancia-de-mercado/orientacoes-para-o-consumidor>. Acesso em: 15 out. 2022.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Renewables 2021 - Analysis and forecast to 2026**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/renewables-2021>. Acesso em: 07 mar. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable Capacity Statistics 2021**. Abu Dhabi: IRENA, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2021>. Acesso em: 07 mar. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Country Rankings 2023**. Disponível em: <https://www.irena.org/Data/View-data-by-topic/Capacity-and-Generation/Country-Rankings>. Acesso em: 10 jun. 2023.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. **Renewable energy statistics 2021**. Disponível em: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jan/IRENA_RE_Capacity_Statistics_2021.pdf. Acesso em: 01 maio 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Share of cumulative power capacity by technology**. Paris Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/share-of-cumulative-power-capacity-by-technology-2010-2027>. Acesso em: 01 maio 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **CO2 Emissions from Fuel Combustion Highlights, 2020**. Edition. Paris: OECD/IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/co2-emissions-from-fuel-combustion-2020-highlights>. Acesso em: 7 maio 2023.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex e P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, 2021. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>. Acesso em: 7 maio 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Total de adições de capacidade de eletricidade renovável, 2001-2027**. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/total-renewable-electricity-capacity-additions-2001-2027>. Acesso em: 25 maio 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global energy investment in clean energy and in fossil fuels, 2015-2023**. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-energy-investment-in-clean-energy-and-in-fossil-fuels-2015-2023>. Acesso em: 25 maio 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Transitions Stocktake**. Disponível em: <https://www.iea.org/topics/global-energy-transitions-stocktake#country-level-tracking-indicators>. Acesso em: 25 maio 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Global Energy Transitions Stocktake**. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Acesso em: 25 maio 2023.

JANNUZZI, Gilberto M. **A nova geopolítica da energia**. Paper apresentado no painel temático “A nova geopolítica da energia”, durante o evento “Diálogos sobre Política Externa, promovido pelo MRE, palácio do Itamaraty, 21/03/2014. Disponível em: http://pt.slideshare.net/gilberto1096/20140321-geopolitica-da-energia?redirected_from=save_on_embed. Acesso em: 25 maio 2023

LUZ SOLAR. **Como funciona o sistema fotovoltaico**. Disponível em: <https://luzsolar.com.br/como-funciona-o-sistema-fotovoltaico/>. Acesso em: 26 mar. 2023.

MAGALHÃES, M.V. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil**. 50p. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

MINISTÉRIO FEDERAL DE ECONOMIA E ENERGIA DA ALEMANHA. **Kosten und Potenziale Erneuerbarer Energien in Deutschland 2021**. Disponível em: https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/kosten-erneuerbarer-energien-in-deutschland-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=7. Acesso em: 01 maio 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Leilão de energia solar de 2020 contratou 2,1 GW de capacidade.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/leilao> Acesso em: 01 maio 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Energia Eólica.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/energia/eolicas>. Acesso em: 07 mar. 2023.

MINISTRY OF NEW AND RENEWABLE ENERGY. **Wind energy in India.** Disponível em: <https://mnre.gov.in/file-manager/akshay-urja/wind/wind-energy-in-india.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Wind energy cost trends in the United States.** Disponível em: <https://www.nrel.gov/docs/fy21osti/78943.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

OMENA, L. A.; SOUZA, R. R.; SOARES, M. J. N. **O papel dos biocombustíveis na nova configuração geopolítica.** Revista de Geopolítica, v. 4, n. 1, p.79-97, jan/jun, 2013.

OLIVEIRA, E. G. C. et al. **Conceitos básicos de sistemas solares Fotovoltaicos.** Revista de Ciência, Tecnologia e Humanidade do Ifpe (Cientec), Recife, v. 9, n. 3, p. 105-118, dez. 2017. Disponível em: <http://revistas.ifpe.edu.br/index.php/cientec/article/view/278/65>. Acesso em: 04 dez. 2021.

OUR WORLD IN DATA. **Cumulative: how much CO2 has it produced to date?** Disponível em: <https://ourworldindata.org/co2/country/united-states?country=USA~BRA~CHN~DEU~JPN~IND~ESP>. Acesso em: 26 out.2023.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **National Program of Electrical Energy Conservation.** Disponível em: www.eletronbras.com/procel. Acesso em: 15 out. 2022.

PROGRAMA BRASILEIRO DE ETIQUETAGEM. **Qualidade e eficiência.** Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/qualidade/eficienciaasp>. Acesso em: 15 out. 2022.

PROGRAMA NACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. **Mudança do clima.** Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/outras-publicacoes/temas-e-agendas-para-o-desenvolvimento-sustentavel/mudanca-do-clima>. Acesso em: 15 out. 2022.

PLANO NACIONAL DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA. **Premissas e diretrizes básicas.** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/publicacoes/plano-nacional-de-eficiencia-energetica/documentos/plano-nacional-eficiencia-energetica-pdf.pdf/view>. Acesso em: 21 nov. 2023.

RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. **CO₂ and greenhouse gas emissions.** Our world in data, 2020. Available at: <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gasemissions>. Acesso em: 15 out. 2022.

STEFANELLO, C.; MARANGONI, F.; ZEFERINO, C. L. **A importância das políticas públicas para o fomento da energia solar fotovoltaica no Brasil**. In: VII Congresso Brasileiro de Energia Solar, 2018, Gramado - RS.

SOLAR ENERGY INDUSTRIES ASSOCIATION. **Solar Industry Research Data**. Disponível em: <https://www.seia.org/research-resources/solar-industry-research-data>. Acesso em: 01 maio 2023.

STATISTA RESEARCH DEPARTMENT. **Electricity prices in selected countries**. Disponível em: <https://www.statista.com/statistics/263492/electricity-prices-in-selected-countries/>. Acesso em: 06 jun. 2023.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica – conceitos e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Érica, 2015

WORLD BANK. **Perspectivas econômicas globais**. Disponível em: <https://www.worldbank.org/pt/publication/global-economic-prospects>. Acesso em: 9 jun. 2020.

WIND ENERGY IN EUROPE. **Wind energy in Europe in 2020**. Disponível em: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/statistics/WindEurope-Annual-Statistics-2020.pdf>. Acesso em: 06 maio 2023.

5.2 APÊNDICE A – Cálculo do ROI do painel fotovoltaico

Assumindo um custo inicial da instalação dos países apresentados na seção 4.3.2 como mostra a Tabela 7:

Tabela 7 – Custo inicial de instalação por kWp de painéis fotovoltaicas de cada país

País	Custo médio inicial (US\$/kWp)
China	1240
Estados Unidos	3150
Índia	950
Japão	3150
Alemanha	1800
Brasil	950

Fonte: IRENA, SEIA, Bridge to Índia, AEEJ, Ministério Federal de Economia e Energia da Alemanha, ABSOLAR (2023)

E um custo de eletricidade por kWh dos sete países como mostra a Tabela 8:

Tabela 8 – Preço da energia elétrica de cada país

País	Média do preço de eletricidade (US\$/kWh)
China	0,08
Estados Unidos	0,18
Índia	0,07
Japão	0,25
Alemanha	0,52
Brasil	0,20

Fonte: Statista (2023)

Tendo os dados da Tabela 8 e 9 pode-se calcular o ROI para cada país como segue:

O primeiro país que se obtêm o valor do ROI é da China. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1240 \cdot 5 = 6200 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia solar como segue:

$$L = 5 \cdot 0,08 \cdot 8760 = 3504 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a China:

$$ROI = \frac{3504 - 6200}{6200} = -0,435$$

O segundo país que se obtêm o valor do ROI é dos EUA. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 3150 \cdot 5 = 15750 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia solar como segue:

$$L = 5 \cdot 0,18 \cdot 8760 = 7884 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a EUA:

$$ROI = \frac{7884 - 15750}{15750} = -0,499$$

O terceiro país que se obtêm o valor do ROI é da Índia. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 950 \cdot 5 = 4750 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia solar como segue:

$$L = 5 \cdot 0,07 \cdot 8760 = 3066 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a Índia:

$$ROI = \frac{3066 - 4750}{4750} = -0,355$$

O quarto país que se obtêm o valor do ROI é do Japão. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 3150 \cdot 5 = 15750 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia solar como segue:

$$L = 5 \cdot 0,25 \cdot 8760 = 10950 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para o Japão:

$$ROI = \frac{10950 - 15750}{15750} = -0,305$$

O quinto país que se obtêm o valor do ROI é da Alemanha. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1800 \cdot 5 = 9000 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia solar como segue:

$$L = 5 \cdot 0,52 \cdot 8760 = 22776 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a Alemanha:

$$ROI = \frac{22776 - 9000}{9000} = 1,531$$

O último país que se obtêm o valor do ROI é do Brasil. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 950 \cdot 5 = 4750 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia solar como segue:

$$L = 5 \cdot 0,20 \cdot 8760 = 8760 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para o Brasil:

$$ROI = \frac{8760 - 4750}{4750} = 0,844$$

5.3 APÊNDICE B – Cálculo do ROI do aerogerador

Assumindo um custo inicial da instalação dos países apresentados na seção 4.3.3 como mostrada na Tabela 9:

Tabela 9 - Custo inicial dos aerogeradores

Pais	Custo médio inicial (US\$/kW)
China	1100
Estados Unidos	1400
Alemanha	1600
Índia	1250
Espanha	1550
Brasil	1600

Fonte: Global Wind Energy Council, National Renewable Energy Laboratory, WindEurope, Ministry of New and Renewable Energy, Associação Brasileira de Energia Eólica (2023)

E um custo de eletricidade por kWh dos sete países como ilustrada na Tabela 10:

Tabela 10 – Preço da energia elétrica de cada país

Pais	Média do preço de eletricidade (US\$/kW)
China	0,08
Estados Unidos	0,18
Índia	0,07
Alemanha	0,52
Espanha	0,37
Brasil	0,20

Fonte: Global Wind Energy Council, National Renewable Energy Laboratory, WindEurope, Ministry of New and Renewable Energy, Associação Brasileira de Energia Eólica (2023)

Tendo os dados da Tabela 9 e 10 pode-se calcular o ROI para cada país como segue:

O primeiro país que se obtêm o valor do ROI é da China por ser primeira da lista. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1100 \cdot 5 = 5500 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia eólica como segue:

$$L = 5 \cdot 0,08 \cdot 8760 = 3504 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a China:

$$ROI = \frac{3504 - 5500}{5500} = -0,363$$

O segundo país que se obtêm o valor do ROI é dos EUA. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1400 \cdot 5 = 7000 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia eólica como segue:

$$L = 5 \cdot 0,18 \cdot 8760 = 7884 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a EUA:

$$ROI = \frac{7884 - 7000}{7000} = 0,126$$

O terceiro país que se obtêm o valor do ROI é da Alemanha. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1600 \cdot 5 = 8000 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia eólica como segue:

$$L = 5 \cdot 0,52 \cdot 8760 = 22776 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a Alemanha:

$$ROI = \frac{22776 - 8000}{8000} = 1.847$$

O quarto país que se obtêm o valor do ROI é da Índia. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1250 \cdot 5 = 6250 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia eólica como segue:

$$L = 5 \cdot 0,07 \cdot 8760 = 3066 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a Índia:

$$ROI = \frac{3066 - 6250}{6250} = -0.509$$

O quarto país que se obtêm o valor do ROI é da Espanha. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1550 \cdot 5 = 7750 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia eólica como segue:

$$L = 5 \cdot 0,37 \cdot 8760 = 16206 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para a Espanha:

$$ROI = \frac{16206 - 7750}{7750} = 1.091$$

O último país que se obtêm o valor do ROI é do Brasil. Então calcula-se o valor do investimento usando a equação (2).

$$I = 1600 \cdot 5 = 8000 \text{ US\$}$$

Em seguida calcula-se o valor do lucro usando a equação (3). Esse lucro está sendo calculado adotando -se a geração anual de energia solar como segue:

$$L = 5 \cdot 0,20 \cdot 8760 = 8760 \text{ US\$}$$

Com os valores do investimento e do lucro calculado anteriormente, substitui-se na equação (1) para calcular o ROI para o Brasil:

$$ROI = \frac{8760 - 8000}{8000} = 0.095$$