



**Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica**

**Análise dos Leilões de Expansão de Geração  
no Contexto do Ambiente de Contratação  
Regulada e sua importância para a Transição  
Energética do Brasil**

Tomás Gaudino Andrade Pires

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO  
ENGENHARIA ELÉTRICA**

Brasília  
2023

**Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica**

**Análise dos Leilões de Expansão de Geração  
no Contexto do Ambiente de Contratação  
Regulada e sua importância para a Transição  
Energética do Brasil**

Tomás Gaudino Andrade Pires

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
como requisito parcial para obtenção do grau  
de Engenheiro Eletricista

Orientador: Prof. Dr. Fernando Cardoso Melo

Brasília  
2023

G769a Gaudino Andrade Pires, Tomás.  
Análise dos Leilões de Expansão de Geração no Contexto do Ambiente de Contratação Regulada e sua importância para a Transição Energética do Brasil / Tomás Gaudino Andrade Pires; orientador Fernando Cardoso Melo. -- Brasília, 2023.  
96 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) --  
Universidade de Brasília, 2023.

1. Setor elétrico. 2. Leilão de Energia. 3. Transição energética.  
4. Fontes Renováveis. I. Cardoso Melo, Fernando, orient. II. Título

**Universidade de Brasília  
Faculdade de Tecnologia  
Departamento de Engenharia Elétrica**

**Análise dos Leilões de Expansão de Geração no  
Contexto do Ambiente de Contratação Regulada e sua  
importância para a Transição Energética do Brasil**

Tomás Gaudino Andrade Pires

Trabalho de Conclusão de Curso submetido  
como requisito parcial para obtenção do grau  
de Engenheiro Eletricista

Trabalho aprovado. Brasília, 28 de novembro de 2023:

---

**Prof. Dr. Fernando Cardoso Melo,**  
**UnB/FT/ENE**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Ivan Marques de Toledo**  
**Camargo, UnB/FT/ENE**  
Examinador interno

---

**Dr. Igor Alexandre Walter, ANEEL/ASD**  
Examinador Externo

Brasília  
2023

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,  
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

# Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de prestar minhas homenagens às pessoas que foram essenciais para o desenvolvimento do trabalho, como também, para meu desenvolvimento como cidadão e estudante.

Agradeço, em primeiro lugar, à minha mãe, Andrea Chaves, e ao meu saudoso pai, Marcelo Pires (In Memoriam). Ambos foram fundamentais na minha formação e desenvolvimento intelectual, não apenas pelo suporte emocional, mas também pelo apoio financeiro que me foi fornecido.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão aos meus amigos, em particular a Daniel Kümmel, futuro engenheiro civil, aos colegas Alexandre Delmonte e Marco Aurélio, futuros engenheiros mecânicos, a João Marcus, futuro engenheiro de energia, e a João Pedro, futuro engenheiro químico e a Diego Laboissiere, futuro engenheiro. Eles desempenharam um papel crucial em manter minha motivação ao longo do curso.

Além disso, sou igualmente grato aos amigos Celso Generoso, Lucas Fruet, Eduardo Michelutti e Guilherme Valle, futuros médicos; Lucas Monnerat, Matheus Messias e Maria Luisa, futuros advogados; Isadora Baghdassarian e Rodrigo Ibraim, futuros economistas; Rafael Politi, futuro educador físico e Rafael Ibraim, amigo desde a infância. Todos eles foram pilares fundamentais em meu crescimento e aprendizado durante o ensino médio.

Desejo expressar minha profunda gratidão aos meus colegas de curso, em especial a Gabriel Germano, Giovane Nunes, João Pedro e João Rafael. Os momentos que compartilhamos e vivenciamos juntos ao longo do curso foram inestimáveis.

Minha profunda gratidão ao meu orientador, Professor Fernando Cardoso, por seus inestimáveis conselhos durante a elaboração deste trabalho. Quero também expressar meu agradecimento aos colegas da ANEEL. Gostaria de destacar, em particular, Agnes Maria, Djane Fontan, Fernanda Argolo, Igor Walter, Isabela Vieira, Nadia Maki, Renata Farias, Sarah Vital, Ana Carolina e Thayna Côrtes. Todos eles foram fundamentais durante meu estágio na Assessoria da Diretoria da ANEEL.

*“If you find that you’re spending almost all your time on theory,  
start turning some attention to practical things;  
it will improve your theories.  
If you find that you’re spending almost all your time on practice,  
start turning some attention to theoretical things;  
it will improve your practice.”  
(Donald Knuth)*

# Resumo

A contratação de energia elétrica no Brasil ocorre por diversos meios, dentre os quais os leilões de energia têm destaque. Além disso, as questões ambientais vêm ganhando destaque, principalmente diante dos gases emitidos no processo de geração de energia. Dessa forma, a realização da transição energética é uma pauta urgente para mitigar esses efeitos. Desse modo, esse trabalho visa analisar os leilões de expansão de geração, focando nos seus aspectos econômicos, ambientais e técnicos. Durante tal procedimento, os dados foram coletados, por meio de planilhas eletrônicas e também do *Power BI* disponibilizado. Os dados têm origem das seguintes instituições: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e também da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). Durante essa análise ficou claro que se apresentaram diversos aspectos interessantes. Entre eles, destacam-se aspectos relevantes entre a dinâmica de oferta e consumo de energia elétrica no país, apresentando-se como um cenário desafiador, devido ao excesso de oferta, para os agentes, principalmente para aqueles que atuam no ACR. Outros pontos de destaque foram os custos dos empreendimentos negociados por fontes e a evidente necessidade de financiamento para fontes renováveis. Abordou-se também a contratação de energia e o seu respectivo preço da aquisição dessa energia por diferentes fontes, bem como o potencial de decisões da energia contratada baseadas nas emissões de CO<sub>2</sub> equivalente. Adicionalmente, destacou-se a quantidade de empreendimentos negociados por fonte e o potencial dessas fontes em leilões para promoção do desenvolvimento social, principalmente pela geração de empregos diretos. Isso evidenciou o potencial das fontes renováveis, demonstrando que o investimento nessa área está alinhado com uma transição energética justa.

**Palavras-chave:** Setor elétrico, Leilão de Energia, Transição energética, Fontes Renováveis.

# Abstract

The procurement of electricity in Brazil takes place through various means, among which energy auctions are notably prominent. Furthermore, environmental concerns have been rising to the forefront, especially given the gases released in the energy generation process. Thus, pursuing an energy transition is an urgent agenda to mitigate these impacts. Accordingly, this study aims to examine aspects of the generation expansion auctions, with a focus on the economic, environmental, and technical facets inherent in such a procedure. During this process, data were gathered through electronic spreadsheets and also from the provided *Power BI*. This data originates from the following institutions: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), the National Electric Energy Agency (ANEEL), and the Electricity Trading Chamber (CCEE). Throughout this analysis, it became evident that various intriguing aspects emerged. Among them, significant dynamics between the supply and demand of electricity in the country stood out, presenting a challenging scenario due to oversupply for stakeholders, especially for those operating within the ACR. Other highlighted points were the costs of projects negotiated by source and the clear need for financing renewable sources. The study also touched upon energy contracting and its respective acquisition price from different sources, as well as the potential for energy contracting decisions based on equivalent CO<sub>2</sub> emissions. Additionally, emphasis was placed on the number of projects negotiated by source and the potential of these sources in auctions for promoting social development, chiefly through the generation of direct employment. This underscored the potential of renewable sources, demonstrating that investment in this sector aligns with a just energy transition.

**Keywords:** Electric sector, Energy Auction, Energy transition, Renewable sources.

# Lista de ilustrações

Figura 2.1 – Emissões per capita de CO <sub>2</sub> de diversos países ao longo do tempo . . . . .	20
Figura 2.2 – Emissões anuais de CO <sub>2</sub> de diversos países ao longo do tempo . . . . .	21
Figura 2.3 – Matriz Elétrica Brasileira 2006 . . . . .	22
Figura 2.4 – Matriz Elétrica Brasileira 2022 . . . . .	24
Figura 2.5 – Participação de fontes renováveis na composição da matriz elétrica . . . . .	24
Figura 2.6a–Gráfico que mostra as variações de geração por fonte entre 2021 e 2022 . . . . .	25
Figura 2.6b–Tabela da Geração de eletricidade por fonte e suas variações entre 2021 e 2022 . . . . .	25
Figura 2.7 – Geração de energia elétrica por fonte dos membros da OCDE no ano de 2020 . . . . .	27
Figura 2.8 – Fatores médios de emissão de CO <sub>2</sub> equivalente na produção de eletricidade . . . . .	28
Figura 2.9 – Histórico de consumo em GWh desde o início dos leilões de geração até o ano de 2022 . . . . .	28
Figura 2.10–Cenários de consumo total futuro . . . . .	29
Figura 2.11–Histórico da capacidade instalada de geração hídrica considerando metade de Itaipu . . . . .	30
Figura 2.12–Atlas Eólico Brasileiro . . . . .	32
Figura 2.13–Expansão de Capacidade Instalada de energia eólica até 2021 . . . . .	33
Figura 2.14–Atlas Solar Brasileiro . . . . .	35
Figura 2.15–Expansão de Capacidade Instalada de energia solar até julho de 2022 . . . . .	36
Figura 2.16–Instituições do Setor Elétrico . . . . .	38
Figura 2.17–Fluxograma das Etapas de um Leilão de Energia . . . . .	42
Figura 2.18–Exemplo de Regressão Linear . . . . .	44
Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia do trabalho . . . . .	49
Figura 3.2 – Fator de emissão por Fonte na produção de energia elétrica . . . . .	54
Figura 4.1 – Número por tipo de empreendimentos negociados em leilões . . . . .	59
Figura 4.2 – Distribuição dos empreendimentos por fonte no território brasileiro . . . . .	60
Figura 4.3 – Relação de Potência instalada por empregos gerados dos empreendimentos negociados em leilões de expansão de geração . . . . .	62
Figura 4.4 – Preços de Energia por Fonte em Leilões de Expansão de Geração . . . . .	64
Figura 4.5 – Custo médio de Investimento por MW da fonte Hidrelétrica . . . . .	67
Figura 4.6 – Custo de Investimento por MW da fonte Eólica . . . . .	68
Figura 4.7 – Custo de Investimento por MW da fonte Fotovoltaica . . . . .	69
Figura 4.8 – Custo de Investimento por MW da fonte Termelétrica . . . . .	70
Figura 4.9 – Dispersão relacionando o investimento previsto e a potência instalada prevista nos leilões . . . . .	71

Figura 4.10–Distribuição da Potência das Usinas Negociadas nos Leilões por Fonte . . . . .	73
Figura 4.11–Energia Contratada em MWh de Geração Hídrica nos Leilões . . . . .	75
Figura 4.12–Energia Contratada em MWh de Geração Eólica nos Leilões . . . . .	76
Figura 4.13–Energia Contratada em MWh de Geração Fotovoltaica nos Leilões . . . . .	77
Figura 4.14–Energia Contratada em MWh de Geração Termelétrica por combustível nos Leilões . . . . .	78
Figura 4.15–Estimativa Acumulada de Emissões de CO <sub>2</sub> equivalente com base na Energia Contratada em Leilões e nos cenários propostos . . . . .	81
Figura 4.16–Oferta x Consumo Total da energia elétrica no país . . . . .	83
Figura 4.17–Variação de $\Delta E$ ao longo do tempo . . . . .	84
Figura 4.18–Consumo no Mercado Cativo x Mercado Livre . . . . .	85
Figura 4.19–Variação no Consumo Mercado Cativo e no Mercado Livre . . . . .	86

# Lista de tabelas

Tabela 3.1 – Fatores de Emissão por Fonte Elétrica . . . . .	55
Tabela 4.2 – Empregos Diretos por região do Brasil dos empreendimentos negociados nos leilões . . . . .	63
Tabela 4.3 – Resumo dos Preços de Energia Corrigidos pelo IPCA, de janeiro de 2023, por Fonte em leilões de expansão de geração . . . . .	65
Tabela 4.4 – Resumo dos Preços de Energia Corrigidos pelo IPCA, de janeiro de 2023, para tipos de empreendimentos hídricos . . . . .	66
Tabela 4.5 – Energia Contratada de empreendimentos termelétricos em Leilões por Tipo de Combustível . . . . .	79
Tabela 4.6 – Fatores de Emissão por Fonte Elétrica . . . . .	80
Tabela 4.7 – Resumo dos Cenários de Contratação de Energia . . . . .	81
Tabela 4.8 – Comparação das emissões dos cenários com as emissões reais. . . . .	82

# Lista de abreviaturas e siglas

$\Delta E$	Diferença entre a Oferta e o Consumo Total de Eletricidade.....	52
$C_f$	Consumo Final de Eletricidade.....	52
$R$	Coeficiente de Correlação de Pearson.....	46
$R^2$	Grau de Adequação da Regressão Linear.....	46
Abradee	Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica.....	85
ACL	Ambiente de Contratação Livre.....	29
ACR	Ambiente de Contratação Regulada.....	16
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.....	26
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social.....	31
CCEAR	Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado.....	41
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica.....	37
CER	Contrato de Energia de Reserva.....	41
CGH	Centrais Geradoras Hidrelétricas.....	66
CMSE	Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico.....	38
CNPE	Conselho Nacional de Política Energética.....	38
CRCAP	Contrato de Reserva de Capacidade para Potência.....	41
EPE	Empresa de Pesquisa Energética.....	38
IPCA	Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo.....	50
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas.....	18
LAJ	Leilão de Ajuste.....	43
LEE	Leilão de Energia Existente.....	43
LEN	Leilão de Energia Nova.....	43
LER	Leilão de Reserva.....	43
LFA	Leilão de Fontes Alternativas.....	43
LPE	Leilão Estruturante.....	43
LSI	Leilão de Sistema Isolado.....	43
M	Importação de Energia.....	52
MWmed	MW médio.....	52
OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico.....	26
OEE	Oferta de Energia Elétrica.....	52
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico.....	37
P	Produção de Eletricidade.....	52
PCH	Pequena Central Hidrelétrica.....	23
PROINFA	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.....	23
SEB	Setor Elétrico Brasileiro.....	37
UHE	Usina Hidrelétrica.....	66

X	Exportação de Energia Elétrica.....	52
---	-------------------------------------	----

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>16</b>
1.1	Contextualização	16
1.2	Justificativa	16
1.3	Objetivo do Trabalho	17
1.3.1	Objetivos Específicos	17
1.4	Estrutura do Trabalho	17
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>18</b>
2.1	Transição Energética	18
2.2	Matriz Elétrica Brasileira	22
2.2.1	Consumo da Rede Elétrica	28
2.2.2	Expansão de Energia Hidrelétrica	30
2.2.3	Expansão de Energia Eólica	31
2.2.4	Expansão de Energia Solar	33
2.3	Setor Elétrico Brasileiro	36
2.3.1	Modelos de Contratação de Energia	39
2.4	Leilões de Energia de Geração	40
2.4.1	Elaboração dos Leilões de Energia	40
2.4.2	Tipos de Leilões	43
2.5	Regressão Linear Simples	43
2.5.1	Cálculo do $\beta_0$ e $\beta_1$	45
2.5.2	Coeficiente de Correlação de Pearson	45
2.6	Considerações Finais do Capítulo	46
<b>3</b>	<b>Metodologia</b>	<b>48</b>
3.1	Obtenção dos dados e Formulação do Histórico	49
3.1.1	Obtenção de Dados Dos Leilões de Expansão de Geração	50
3.1.2	Obtenção de Dados Consumo e Oferta	50
3.2	Perspectiva Econômica	50
3.2.1	Aplicação da Regressão Linear Simples	51
3.3	Perspectiva Técnica	51
3.3.1	Cálculo da Oferta de Energia Elétrica	52
3.3.2	Análise da Oferta versus Consumo Total	52
3.3.3	Análise da Energia Contratada e Potência nos Leilões	52
3.4	Perspectiva Ambiental	53
3.5	Limitação da metodologia	56

3.5.1	Limitação da abordagem econômica e técnica . . . . .	56
3.5.2	Limitação da abordagem ambiental . . . . .	56
3.6	Considerações Finais da Metodologia . . . . .	57
<b>4</b>	<b>Resultados e Discussão . . . . .</b>	<b>58</b>
4.1	Empreendimentos Negociados . . . . .	58
4.1.1	Localização dos empreendimentos . . . . .	59
4.2	Geração de Empregos por MW instalado . . . . .	61
4.3	Preço das Fontes . . . . .	63
4.4	Custo de Investimento por MW . . . . .	66
4.4.1	Fonte de Geração Hídrica . . . . .	67
4.4.2	Fonte de Geração Eólica . . . . .	68
4.4.3	Fonte de Geração Fotovoltaica . . . . .	69
4.4.4	Fonte de Geração Termelétrica . . . . .	70
4.4.5	Comparação entre o Custo e a Potência Instalada . . . . .	71
4.5	Potência das Usinas dos Leilões . . . . .	73
4.6	Contratação de Energia Nos Leilões . . . . .	74
4.6.1	Fonte de Geração Hídrica . . . . .	74
4.6.2	Fonte de Geração Eólica . . . . .	75
4.6.3	Fonte de Geração Fotovoltaica . . . . .	76
4.6.4	Fonte de Geração Termelétrica . . . . .	77
4.7	Estimativa nas Emissões de CO <sub>2</sub> equivalente da Energia Contratada . . . . .	79
4.8	Oferta e Consumo Total de Energia Elétrica no País . . . . .	83
<b>5</b>	<b>Conclusões da Pesquisa . . . . .</b>	<b>88</b>
5.1	Sugestões de Trabalhos Futuros . . . . .	90
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>91</b>

# 1 Introdução

## 1.1 Contextualização

Em um mundo cada vez mais preocupado com os impactos das mudanças climáticas, diversas nações empreenderam os seus esforços para mitigar os impactos ambientais que ocorrem no processo de geração de energia, principalmente quando esse processo tem a utilização de combustíveis fósseis. Nesse sentido, uma das medidas para conter os impactos ambientais foi a assinatura do histórico Acordo de Paris, no qual os países que ratificaram o acordo têm como objetivo reduzir significativamente as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente até o ano de 2050.

Nesse contexto, uma das estratégias mais promissoras tem sido a transição de matrizes energéticas centradas em fontes com maiores fatores de emissão de gases que provocam o efeito estufa para alternativas mais sustentáveis, baseadas principalmente em fontes renováveis. Essa mudança, além de atender aspectos ambientais, tem o potencial de impulsionar o desenvolvimento socioeconômico, gerando emprego, inovação e fortalecendo economias locais.

O Brasil é detentor de uma das matrizes energéticas mais renováveis do planeta, dessa forma, alinhada com a transição energética. Um dos principais mecanismos adotados pelo país para garantir a expansão sustentável e diversificada de sua matriz elétrica é o sistema de leilões de energia (LOSEKANN; TAVARES, 2019). Nessa perspectiva, este sistema de leilões desempenha um papel fundamental para o suprimento seguro de energia elétrica diante de constantes aumentos no consumo, mas também incentivam a integração de novas fontes renováveis dentro do cenário energético nacional, atraindo, ao mesmo tempo, investimentos significativos para o setor.

Dessa forma, para avaliar a eficácia e a influência desses leilões na formatação de matriz elétrica brasileira sustentável, é imperativo analisar os leilões já realizados. Essa análise permitirá uma compreensão mais profunda sobre a participação das fontes renováveis nas negociações e seus subsequentes impactos socioeconômicos – especialmente na capacidade de gerar empregos diretos em diversas regiões do país.

## 1.2 Justificativa

Esta pesquisa é fundamental para evidenciar o papel vital que este dispositivo de contratação de energia desempenha na transição energética do Brasil, e portanto, trazer uma melhor compreensão dos leilões de energia e de seus efeitos, o que é útil em auxiliar na

implementação de políticas públicas dentro do setor elétrico. Tal conhecimento também é crucial para a implementação de uma transição energética completa em um país que já conta com uma das matrizes elétricas mais sustentáveis do mundo.

## 1.3 Objetivo do Trabalho

Esse trabalho tem como objetivo mostrar a utilização dos leilões de energia como meios essenciais para impulsionar a transição energética brasileira, focando na comparação entre as fontes negociadas e de seu histórico. Além disso, busca analisar o impacto social destas negociações de energia, por meio da estimativa de empregos diretos gerados, enfatizando sua evolução ao longo do tempo e a consequente promoção de uma transição energética justa.

### 1.3.1 Objetivos Específicos

Esse trabalho apresenta os seguintes objetivos específicos:

- Participação de cada fonte por número de empreendimentos negociados.
- Análise da Estimativa de Geração de Empregos por MW instalado.
- Histórico de preços pagos por MWh.
- Custo de instalação por MW.
- Análise da Energia contratada em leilões.
- Estimativa da emissão de CO<sub>2</sub> equivalente realizada utilizando a energia contratada leilões.
- Análise da Oferta e Consumo Total de Energia Elétrica no País.

## 1.4 Estrutura do Trabalho

A estrutura deste trabalho se inicia com a Introdução, seguida pelo Capítulo 2, dedicado à Fundamentação Teórica, na qual são expostos os principais elementos teóricos essenciais para a compreensão dos assuntos relevantes ao tema. O Capítulo 3 aborda a metodologia utilizada no trabalho e o tratamento dos dados referentes ao histórico dos leilões de energia de expansão de geração. No Capítulo 4, denominado "Resultados e Discussão", os dados coletados são apresentados e analisados. O trabalho é concluído no Capítulo 5 com as Conclusões sobre a pesquisa. Adicionalmente, no capítulo são apresentadas também Sugestões para Estudos Futuros na área.

## 2 Fundamentação Teórica

Este capítulo do trabalho tem como função expor os conceitos teóricos necessários para melhor compreensão desse estudo.

### 2.1 Transição Energética

A Inglaterra desempenhou um papel importante no desenvolvimento da Primeira Revolução Industrial que ocorreu no início do século XIX. Esse fenômeno gerou importantes transformações nas estruturas econômicas, energéticas e produtivas no mundo (MERLIN, 2022). Nesse momento, o carvão foi utilizado como o principal combustível para a geração de energia nas indústrias para a produção de bens. Posteriormente, em meados do século XX, ocorreu a Segunda Revolução Industrial, que se estendeu por todo o mundo, e que se caracterizou pelas importantes inovações científicas descobertas nessa época, como por exemplo a eletricidade. Além disso, durante tal momento ocorreu uma substituição gradativa da utilização do carvão pelo uso do petróleo como a principal fonte energética empregada (MERLIN, 2022).

Nessa perspectiva, a sociedade acabou por se tornar altamente dependente dos combustíveis fósseis para o funcionamento de diversos setores, devido às alterações estruturais, econômicas e produtivas globais dentro da sociedade vivenciadas nesse período (MERLIN, 2022). Consequentemente, o crescimento desse fenômeno resultou em uma amplificação das emissões de gases responsáveis por intensificar o efeito estufa, observando-se uma tendência ascendente destas emissões mundiais ao longo dos anos. Nesse sentido, conforme indicado pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas – IPCC (2021), já ocorreu um aumento médio de 1.07°C da temperatura do planeta com relação aos níveis pré-industriais. Logo, tais impactos apresentam-se como extremamente negativos para a biodiversidade do planeta.

Para atenuar os impactos climáticos e seus efeitos, diversos países uniram esforços e assinaram acordos ambientais, mostrando seu comprometimento em buscar soluções sustentáveis e enfrentar as mudanças climáticas. É válido ressaltar que é amplamente reconhecido que o aumento descontrolado da temperatura pode acarretar uma série de consequências graves e prejudiciais para a biodiversidade do nosso planeta, além de trazer graves impactos econômicos e sociais para a população mundial. Uma das preocupações mais significativas reside no potencial aumento da desigualdade global, uma vez que o aumento das temperaturas pode complicar a sustentabilidade e viabilidade de várias atividades econômicas, sobretudo as relacionadas com o setor primário. Diante de tal cenário, as nações mais vulneráveis e com menos recursos para lidar com essa problemática seriam as mais afetadas

diante desse cenário (IPCC, 2023).

A resposta mais recente para esse problema foi a assinatura do Acordo de Paris, que foi ratificado por diversos países, e esse tratado estabelece uma série de objetivos rigorosos visando principalmente a contenção do crescimento da temperatura global. Para isso o acordo visa principalmente uma significativa redução nas emissões de carbono até 2050 para a contenção dessa temperatura. Esse compromisso visa, minimizar os impactos ambientais negativos sobre os ecossistemas mundiais, mas também impulsiona a mobilização de recursos financeiros direcionados para o desenvolvimento sustentável.

Nesse sentido, são necessárias diversas ações para mitigar as mudanças climáticas. Dentre as quais, destaca-se o investimento na produção de energia elétrica por meio das usinas fotovoltaicas e eólicas, que devem atender diversos aspectos econômicos e regulatórios, entre outros (IPCC, 2022). Essas perspectivas estão alinhadas com a ideia de uma transição energética. A proposta é migrar de uma matriz energética global amplamente baseada em combustíveis fósseis para a utilização de fontes renováveis de energia, visando uma matriz que se aproxime de emissões zero de gases que agravam o efeito estufa (GONZÁLEZ, 2021).

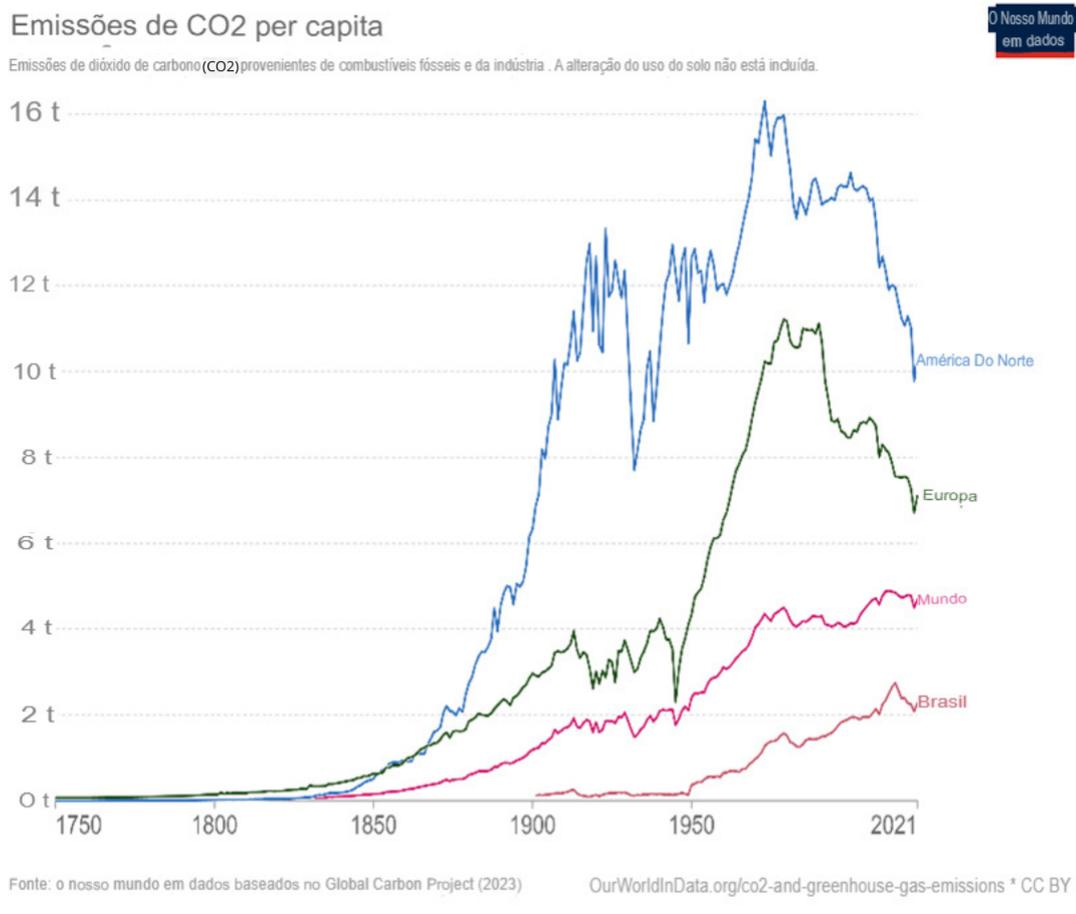
Portanto, para a implementação da transição energética é necessária uma série de transformações notórias na sociedade como um todo. Tais mudanças baseiam-se em três princípios fundamentais: Descentralização, Descarbonização e Digitalização (3D's) (EPE, 2023f). Então, a Descentralização é produzir energia mais perto do consumidor, a Descarbonização seria a geração de energia sem que ocorresse a produção de gases estufa nesse processo e a Digitalização seria a maior utilização de recursos tecnológicos na cadeia produtiva (EPE, 2023f).

Ademais, o instituto E+ Transição Energética considera a adição de mais 2D's como imperativos para a compreensão da transição energética em sua totalidade, esses D'S seriam o Desenho de Mercado e Democratização. Dessa forma, a Democratização seria a maior participação e autonomia de escolha dos consumidores dentro dessa transição energética, e o Desenho de Mercado seria a remodelagem de como as negociações ocorrem dentro do setor elétrico (E+ ENERGIA, 2022). Por fim, essa transição também busca uma maior eficiência energética.

Diante do exposto, é notório concluir que a implementação da transição energética desempenha um papel fundamental nesse controle das mudanças climáticas e dos seus efeitos negativos. Isso ocorre devido a tal fenômeno buscar a descarbonização no processo de geração de energia e, dessa forma, reduzir a emissão dos gases que contribuem para o agravamento do problema. Sob essa perspectiva, os autores Guzowski et. al (2021) argumentam que o sistema energético mundial não é sustentável a partir de uma análise ambiental, econômica e social. Nesse contexto, para conseguirmos estabelecer uma Transição Energética Justa é necessário conciliar a necessidade de combater as mudanças climáticas por meio de uma mudança na geração de energia de combustíveis fósseis para uma que seja por meio de fontes de

energia renováveis, visando a eliminar a emissão de carbono do sistema energético, alinhada com a promoção simultânea do bem-estar social (GUZOWSKI; MARTIN; ZABALAY, 2021). Desse modo, criando empregos e aumentando a renda e o bem-estar das pessoas em regiões menos desenvolvidas, acarretando um aumento da inclusão social de suas populações (REIS, 2023).

Figura 2.1 – Emissões per capita de CO<sub>2</sub> de diversos países ao longo do tempo



1. Emissões fósseis: as emissões fósseis medem a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) emitida pela queima de combustíveis fósseis e diretamente da indústria processos como a produção de cimento e de aço. Co Fóssil, inclui emissões de carvão, petróleo, gás, queima, cimento, aço e outros processos industriais. As emissões fósseis não incluem alterações no uso do solo, desflorestação, solos ou vegetação.

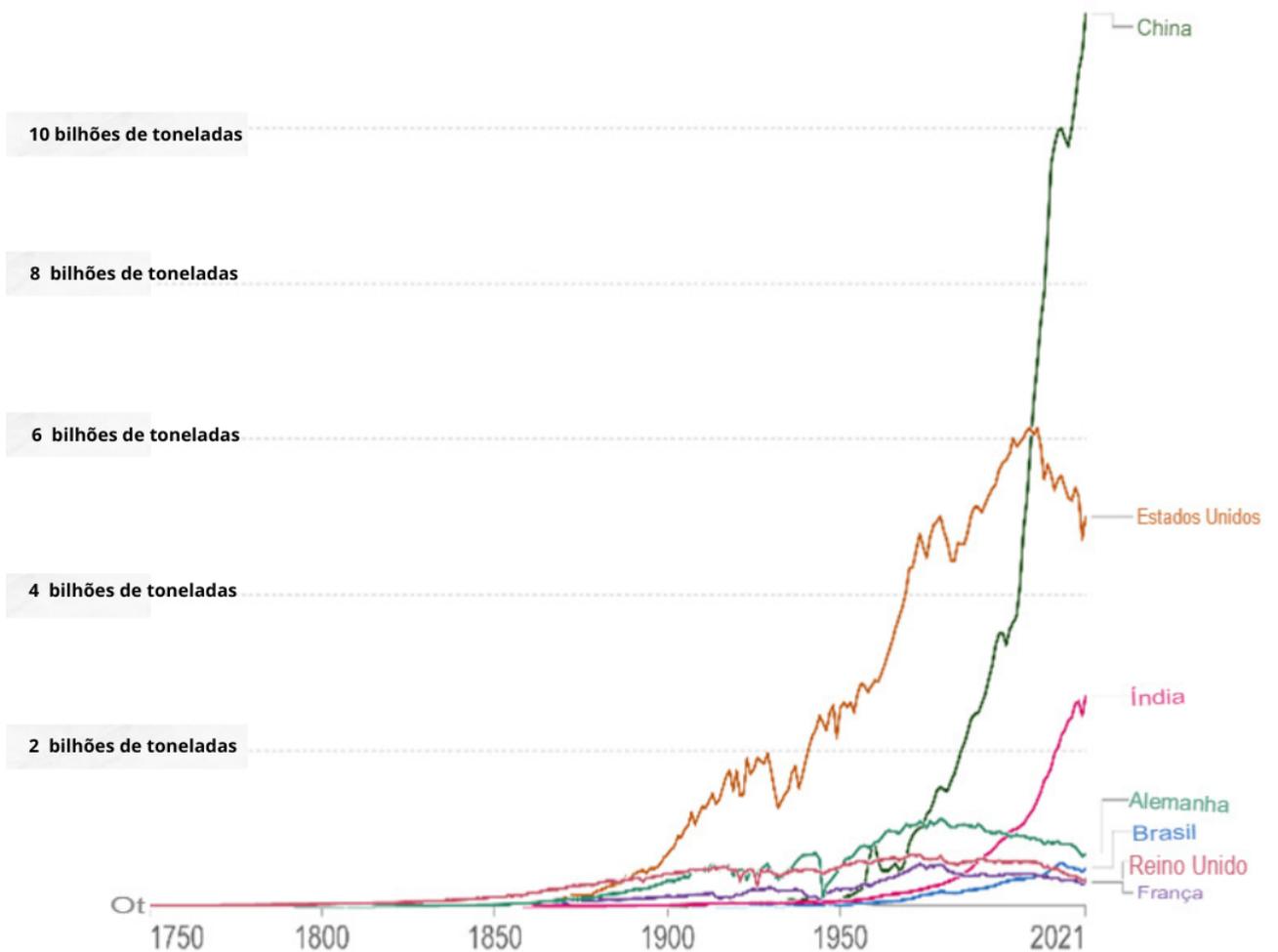
Fonte: Traduzido e adaptado de (RITCHIE; ROSER; ROSADO, 2021)

Figura 2.2 – Emissões anuais de CO<sub>2</sub> de diversos países ao longo do tempo

## Emissões anuais de CO<sub>2</sub>

Emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) provenientes dos combustíveis fósseis e da indústria. A alteração do uso do solo não está incluída.

O Nosso Mundo  
em dados



Fonte: o nosso mundo em dados baseados no Global Carbon Project (2023)

OurWorldinData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions \* CC BY

1. Emissões fósseis: as emissões fósseis medem a quantidade de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) proveniente da queima de combustíveis fósseis e directamente da indústria processos como a produção de cimento e de aço. Co Fossil: inclui emissões de carvão, petróleo, gás, queima, cimento, aço e outros processos industriais. As

Fonte: Traduzido e adaptado de (RITCHIE; ROSER; ROSADO, 2021)

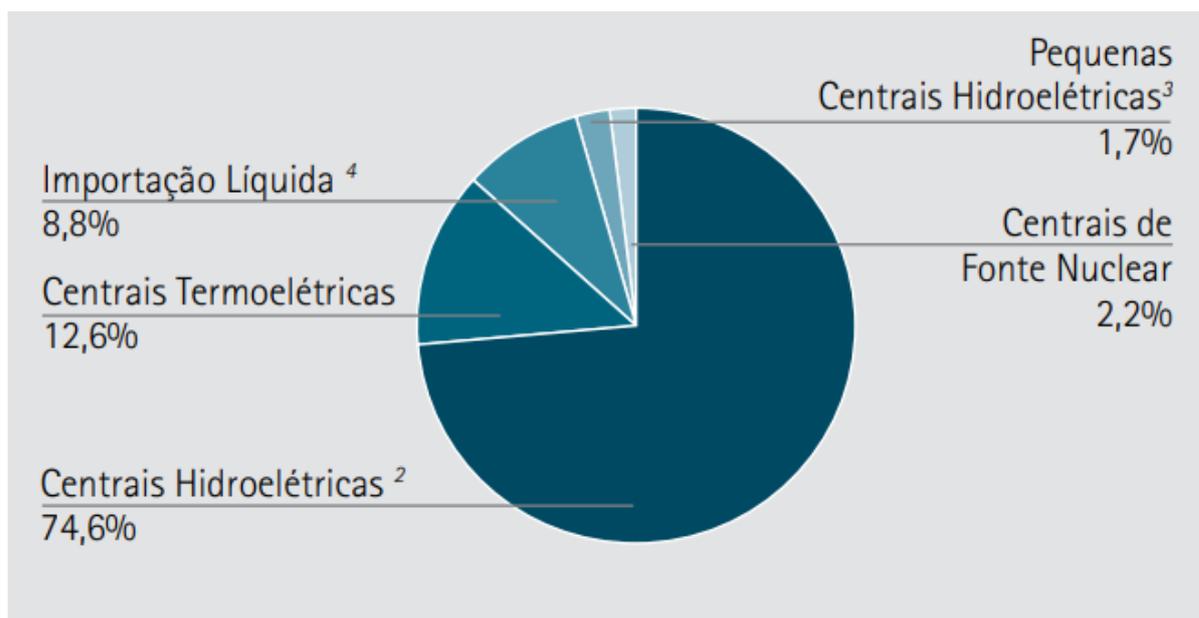
Na conjuntura brasileira, é importante ressaltar que a matriz elétrica é predominantemente composta por fontes renováveis, devido à presença de tais recursos em seu território de forma abundante para gerar esse tipo de energia. Por isso, é notório que o Brasil possui uma média per capita e total das emissões de CO<sub>2</sub> significativamente mais baixas que as médias apresentadas pelos países desenvolvidos, e até mesmo em comparação mundial. Tal situação evidencia a posição privilegiada que o Brasil se encontra para implementar a transição energética sob o aspecto da descarbonização.

Agora, sob uma perspectiva de uma transição energética justa no Brasil, destaca-se a exploração do potencial para a geração de energia renovável, principalmente por meio das fontes eólicas e solares, localizadas em regiões geográficas que possuem um menor desenvolvimento econômico e social, como a região Nordeste (REIS, 2023). Por conseguinte, é essencial que essa implementação leve em consideração uma abordagem abrangente, que envolva tanto a promoção da produção de energia renovável quanto a análise cuidadosa dos impactos sociais e ambientais sobre a população local. O objetivo é estimular a atividade econômica e produtiva nessas áreas, o que consequentemente resultará em um aumento do desenvolvimento social regional (REIS, 2023).

## 2.2 Matriz Elétrica Brasileira

A Matriz Elétrica Brasileira é o conjunto de fontes geradoras disponíveis para a produção de energia elétrica no Brasil. Conforme ilustrado pela Figura 2.3, observa-se que em 2005 a matriz elétrica nacional era composta principalmente por meio da geração hídrica, juntamente com uma participação significativa de Usinas Térmicas, emissoras de gás carbônico, para complementar o abastecimento. Também existe uma parcela significativa das importações líquidas de energia para complementar o fornecimento de eletricidade para o país. A partir dessa observação, torna-se evidente que a dependência do Brasil não estava apenas em seu sistema hidrelétrico interno e fornecimento doméstico; havia também uma substancial dependência de importações de energia para satisfazer o consumo de eletricidade brasileiro.

Figura 2.3 – Matriz Elétrica Brasileira 2006



Fonte: (EPE, 2006)

---

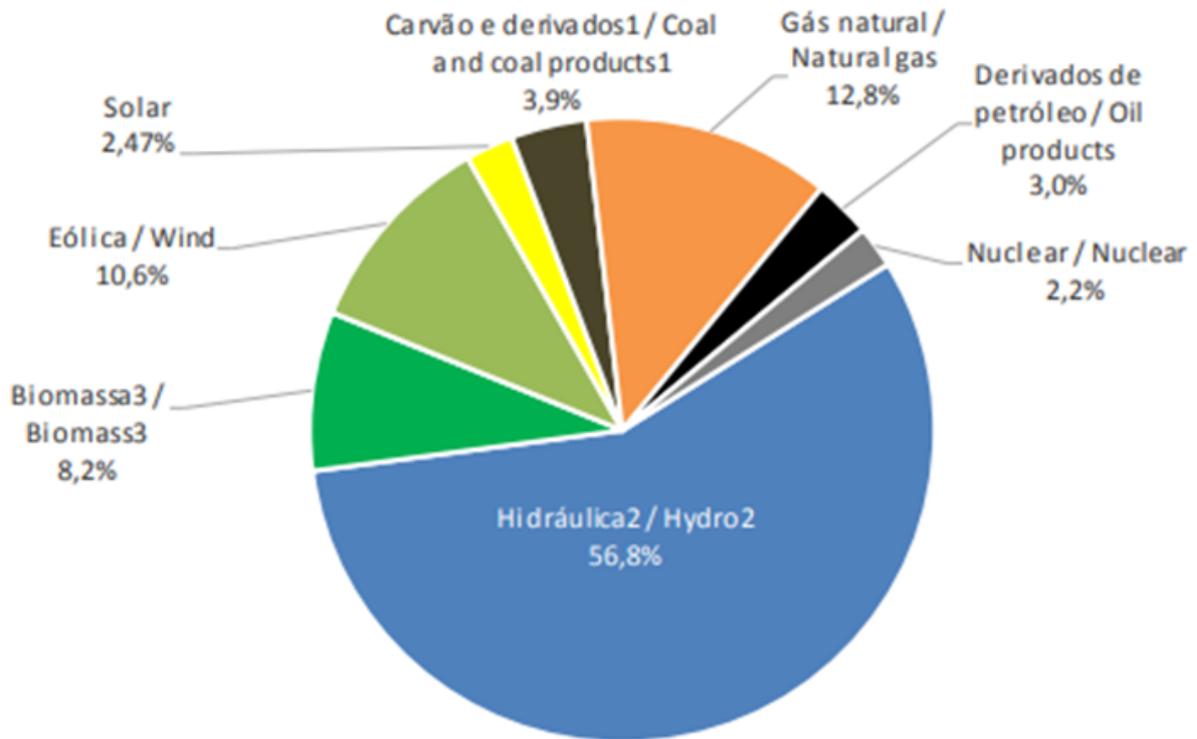
Ao examinar a matriz elétrica do ano de 2022, mostrada por meio da Figura 2.4, pode-se observar uma notável diversificação na matriz elétrica nacional quando é comparada ao cenário apresentado no ano de 2006. Isso é mais evidente ao analisar a quantidade de novas fontes inseridas, como um significativo aumento na participação da geração de energia solar, eólica e biomassa para a produção de energia elétrica.

Outro fator que é válido destacar é a redução significativa da participação das fontes hidrelétricas e nas importações de energia elétrica ao ser realizada uma comparação entre as duas matrizes. Isso indica uma mudança no perfil da matriz elétrica, com uma maior participação de fontes renováveis e uma redução na dependência das fontes tradicionais. A diversificação da matriz elétrica reflete os esforços empreendidos para evitar a repetição de um cenário de desabastecimento hídrico como o ocorrido nos anos 2000 (NUNES, 2019).

Para assegurar essa diversificação, foram adotadas diversas estratégias visando sua concretização. Destacando-se a criação no ano de 2002 do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), que tinha como objetivo a contratação de energia provinda das fontes eólica, biomassa e de pequenas centrais hidrelétricas (PCH), como também, vale ressaltar a crescente participação desses empreendimentos nos Leilões de Energia de expansão de geração, devido à presença de incentivos governamentais para isso. Dessa forma, o resultado desses esforços ocorre quando comparamos as matrizes elétricas dos anos de 2006 e 2022, mostrando claramente a presença de mais fontes elétricas.

Além disso, a redução da participação da fonte hidrelétrica e o aumento significativo da participação de fontes termoeletricas, com o objetivo de abastecer o sistema, bem como de outras fontes na matriz elétrica ocorreu dentre outros motivos devido à crise hídrica que ocorreu no ano de 2021 (EPE, 2022a). Dessa forma, conforme ilustrado na Figura 2.5, houve uma redução na participação de fontes renováveis na matriz energética em 2021. Uma das principais razões para essa diminuição na produção de energia elétrica pelas usinas hidrelétricas foi a escassez de chuvas, resultando em menor abastecimento, e por conseguinte a capacidade de geração de energia elétrica por meio de usinas com origem hídrica.

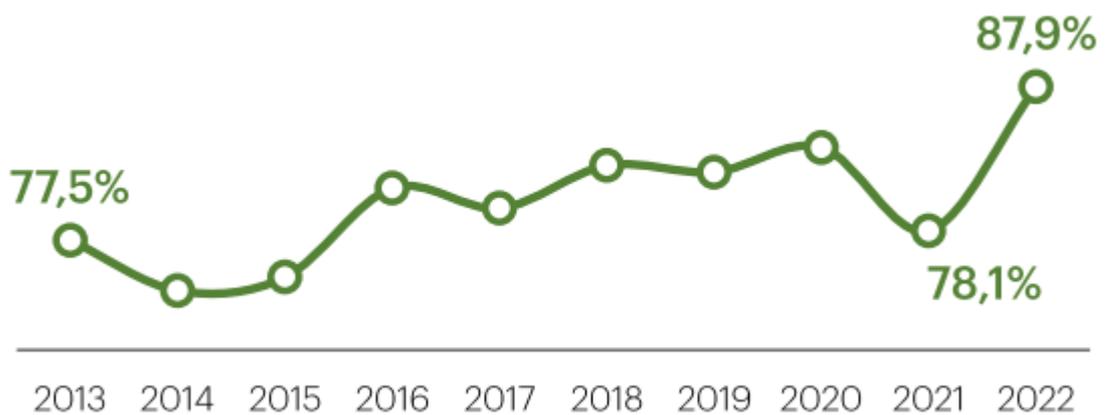
Figura 2.4 – Matriz Elétrica Brasileira 2022



Fonte: (EPE, 2022a)

A Figura 2.5 mostra a participação das fontes renováveis na matriz elétrica brasileira, tal figura está exposta a seguir:

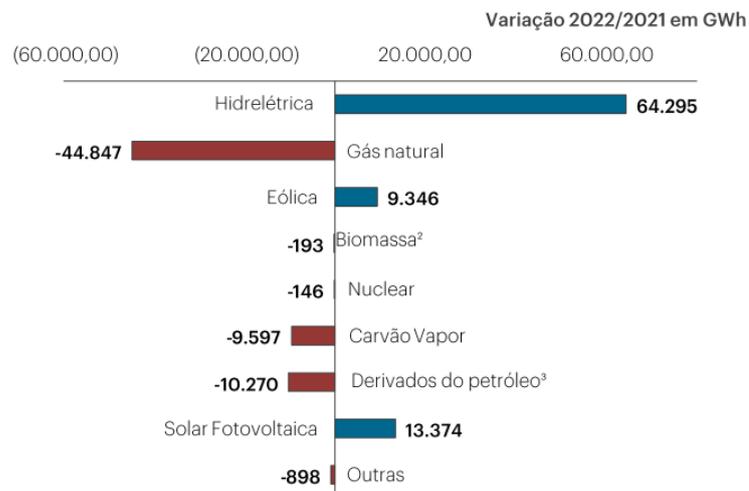
Figura 2.5 – Participação de fontes renováveis na composição da matriz elétrica



Fonte: (EPE, 2023b)

Todavia, é notória a forte recuperação do protagonismo das fontes renováveis para a geração elétrica no cenário nacional. Esse fenômeno ocorreu devido ao significativo aumento da geração solar e hidrelétrica, esta última beneficiada pela recuperação dos níveis de seus reservatórios, além do destaque alcançado pela energia eólica neste processo (EPE, 2023b). No mesmo período, observou-se uma redução significativa na utilização de combustíveis fósseis para a produção de eletricidade, conforme ilustrado nas Figuras 2.6a e 2.6b, que serão apresentadas a seguir:

Figura 2.6a – Gráfico que mostra as variações de geração por fonte entre 2021 e 2022



Fonte: (EPE, 2023b)

Figura 2.6b – Tabela da Geração de eletricidade por fonte e suas variações entre 2021 e 2022

Fonte	2021	2022	Δ 22/21
Hidrelétrica	362.818	427.114	17,7%
Gás Natural	86.957	42.110	-51,6%
Eólica	72.286	81.632	12,9%
Biomassa <sup>2</sup>	52.416	52.223	-0,4%
Nuclear	14.705	14.559	-1,0%
Carvão Vapor	17.585	7.988	-54,6%
Derivados do Petróleo <sup>3</sup>	17.327	7.056	-59,3%
Solar Fotovoltaica	16.752	30.126	79,8%
Outras <sup>4</sup>	15.263	14.364	-5,9%
<b>Geração Total</b>	<b>656.109</b>	<b>677.173</b>	<b>3,2%</b>

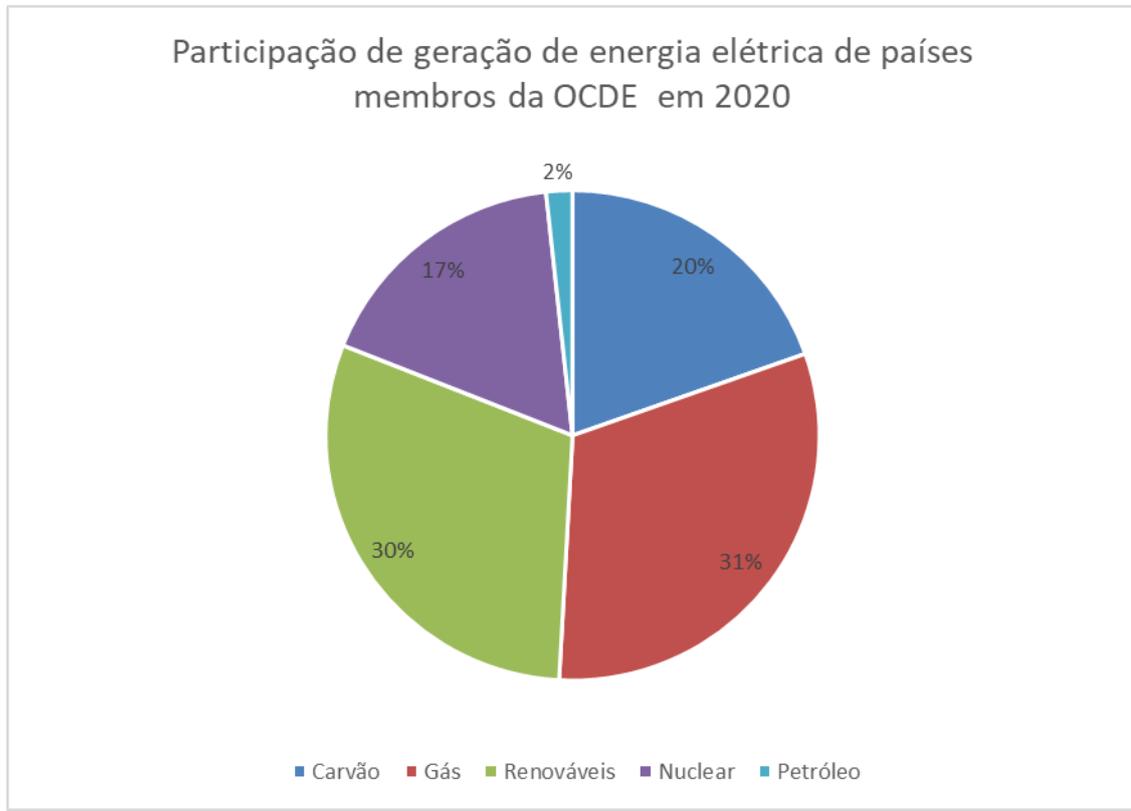
Fonte: (EPE, 2023b)

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) (2023) no período do primeiro trimestre do ano de 2023, a matriz elétrica brasileira sofreu uma expansão de 2.746,5 MW da sua capacidade instalada, sendo 87,6% composta de fontes alternativas, assim, evidenciando sua recuperação. Isso ressalta a importância de tais fontes na composição e modernização da matriz elétrica brasileira. Nesse sentido, cabe destacar a frase do atual ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira que ressalta a significativa parcela de fontes renováveis e de sua importância na geração de eletricidade no contexto brasileiro, principalmente em comparação com o cenário internacional:

(MME, 2023) Hoje, temos 85% da nossa matriz elétrica renovável e os dados mostram que estamos encaminhando para avançar ainda mais. É o futuro da nossa geração no rumo da inovação, da ampliação das fontes renováveis, mostrando, mais uma vez, que a matriz energética brasileira está na vanguarda mundial da sustentabilidade

Em conformidade com a frase do ministro, ao analisar como a geração de energia ocorreu nos países participantes da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), podemos notar uma maior participação de fontes renováveis em detrimento da diminuição de fontes poluentes, entre o período de 2000 até 2020, dentre as quais o carvão e o petróleo diminuíram notoriamente sua participação no processo de geração de energia elétrica (IEA, 2020). Todavia, mesmo diante de tais investimentos e esforços que foram feitos por esses países, visando a diminuição da participação de geração de eletricidade dessas fontes poluentes, ainda é notável que o percentual das fontes renováveis seria apenas de 30%, enquanto, no mesmo período as fontes renováveis corresponderam a 83% de toda a energia elétrica gerada no cenário brasileiro (MME, 2023).

Figura 2.7 – Geração de energia elétrica por fonte dos membros da OCDE no ano de 2020



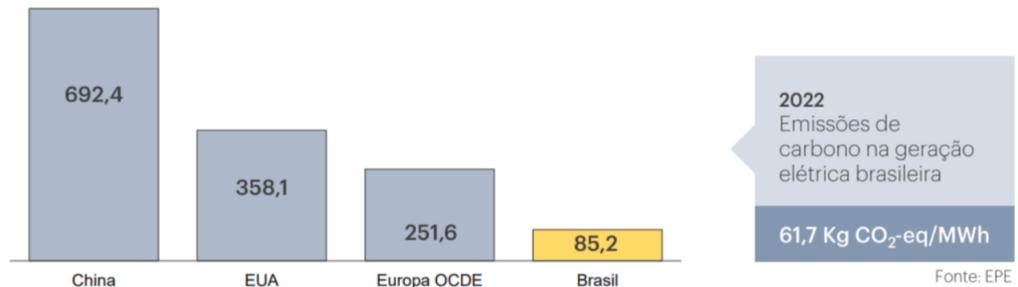
Fonte: (IEA, 2020) adaptado.

Uma das consequências dos fatos já supracitados é o fator de emissão médio na produção de eletricidade muito menor que o resto do mundo. O fator de emissão representa a quantidade de gás carbônico equivalente que é emitido para a geração de uma quantidade de energia (MWh). Tal fato é evidenciado na comparação entre diversos países realizada pela EPE (2023), representada pela Figura 2.8:

Figura 2.8 – Fatores médios de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente na produção de eletricidade

### Emissões na produção de energia elétrica

Emissões de CO<sub>2</sub> (kg) por MWh gerado (2020)  
 Fonte: Agência Internacional de Energia. Elaboração: EPE

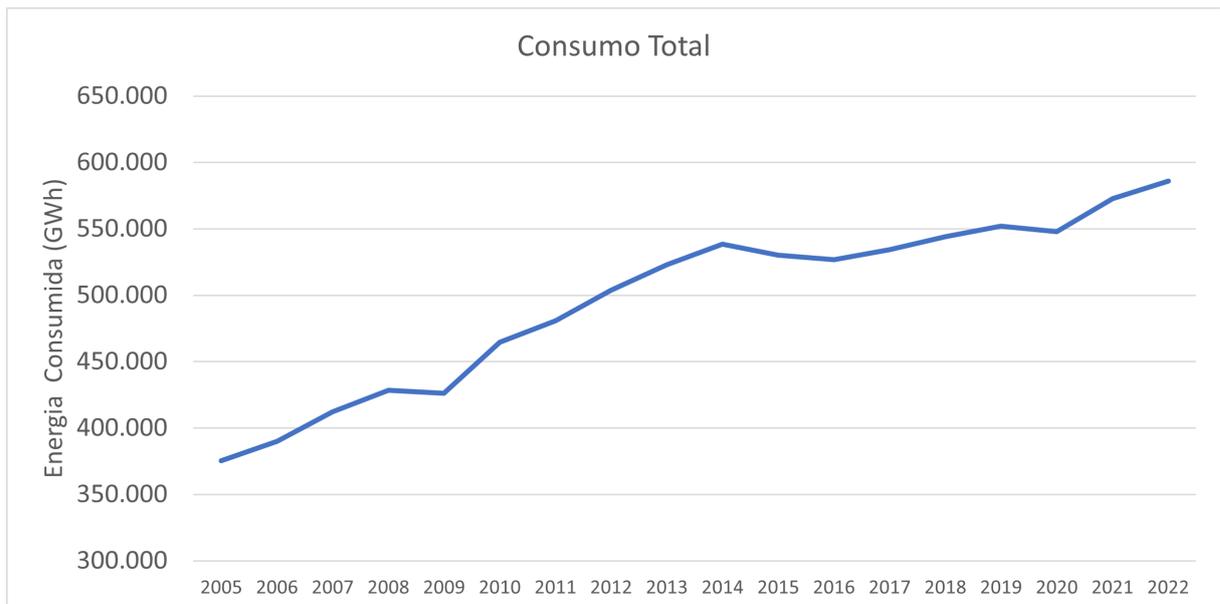


Fonte: (EPE, 2023b)

### 2.2.1 Consumo da Rede Elétrica

O consumo da rede elétrica refere-se à quantidade de energia elétrica consumida pelas unidades consumidoras conectadas à rede elétrica durante um determinado período. no caso do país isso se traduz como a soma de energia consumida por todas as unidades consumidoras ligadas na rede elétrica presente em seu território.

Figura 2.9 – Histórico de consumo em GWh desde o início dos leilões de geração até o ano de 2022

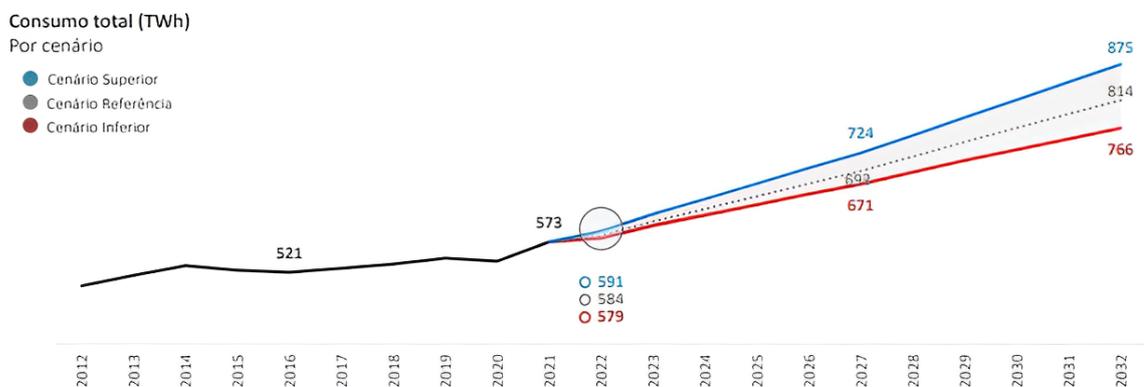


Fonte: Com base em dados divulgados pela EPE

Pode-se identificar, conforme exposto pela Figura 2.9, um aumento constante no consumo de energia elétrica, devido aos progressos sociais e econômicos vivenciados durante a última década. Embora, seja possível notar uma queda desse consumo em três períodos distintos. O primeiro ocorreu em 2009, devido à retração da economia mundial nesse ano. O segundo que compreende entre os anos de 2014 até 2016, manifestou-se devido a forte recessão econômica vivenciada pelo país naquele momento, o que levou a diminuição da atividade produtiva, e por conseguinte, da necessidade de eletricidade para a manutenção de suas atividades. Tivemos também uma queda no ano de 2020, devido a pandemia do COVID-19, já que durante esse período tivemos a redução das atividades econômicas devido a implementação de políticas de contenção do número de casos, que evitavam a aglomeração de pessoas em um mesmo ambiente, levando a uma queda na necessidade de energia devido a falta de atividade econômica nesse período.

Além disso, com o objetivo de auxiliar no planejamento do setor elétrico nacional a EPE elabora manuais demonstrando diversos cenários. Assim, a Figura 2.10 tem a projeção do consumo elétrico nacional até o ano de 2032, sendo que o cenário de referência considerou um aumento do consumo de 3,4% a cada ano.

Figura 2.10 – Cenários de consumo total futuro



Fonte: (EPE, 2023e)

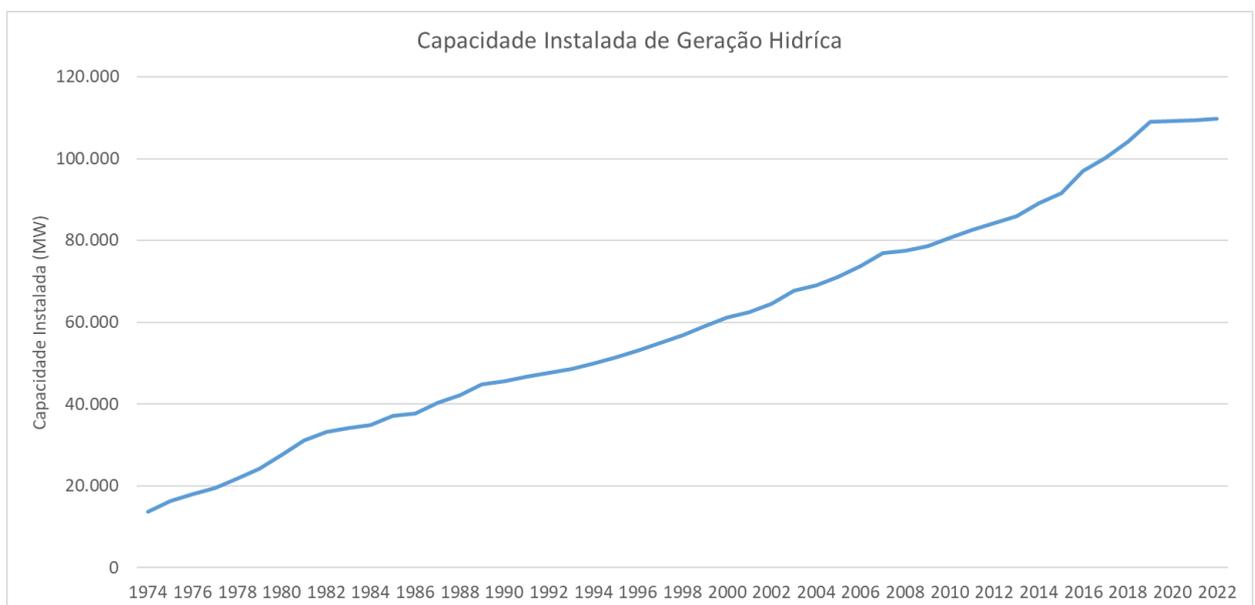
É notório um aumento contínuo previsto da necessidade por eletricidade das unidades consumidoras, mesmo diante do que foi representado no cenário inferior, o que necessita de uma expansão contínua da capacidade instalada no país para conseguir suprir essa ampliação. Desse modo, é importante que pensando em uma transição energética, essa expansão da geração de eletricidade seja por meio de fontes renováveis, principalmente nos leilões de energia, que possibilita uma forte inserção dessas fontes dentro do ACR e também da matriz elétrica brasileira, bem como na priorização dessas fontes elétricas dentro das negociações presentes no Ambiente de Contratação Livre (ACL).

## 2.2.2 Expansão de Energia Hidrelétrica

Como já apresentado é notório que a geração hídrica teve um papel fundamental para o suprimento de eletricidade no país. Isso é justificado ao percebermos o percentual significativo que essa fonte participa da matriz elétrica de 2022, que está em torno de 56,8% (EPE, 2022a). Contudo, ao compararmos com seu percentual na matriz de 2006 podemos notar uma queda na sua participação, devido tanto à presença de novas fontes, como também pela crise vivida que impactou negativamente esse segmento do setor de gerador.

Ademais, é válido ressaltar que cerca de 60% do potencial hidrelétrico brasileiro para a produção já está sendo utilizado para a produção de eletricidade, e uma parte significativa do que ainda não está sendo explorado para a produção de energia está localizada na região Norte do país (EPE, 2023a). Por fim, cabe destacar que a implantação de uma usina hidrelétrica possui alguns benefícios, tal como o controle do fluxo do rio. Todavia, pode apresentar um alto custo ambiental e social para sua instalação, devido frequentemente grandes áreas são alagadas para comportar essa usina, tal fato pode acarretar a migração de populações locais, a exemplo de comunidades ribeirinhas, e o estabelecimento de empreendimentos de geração hídrica pode também resultar na perda de áreas significativas de habitats da fauna e da flora presentes nessa região.

Figura 2.11 – Histórico da capacidade instalada de geração hídrica considerando metade de Itaipu



Fonte: Com base em dados divulgados pela (EPE, 2023c)

Um fato interessante ao analisar a capacidade instalada dessa fonte geradora é seu constante crescimento, com uma estabilidade no aumento da capacidade instalada nos últimos anos. Isto pode indicar o já citado alto percentual do potencial hidrelétrico no país

---

que já foi explorado, a presença de novas fontes que podem ser opções mais interessantes para se investir do que a construção de uma hidrelétrica, perante aspectos financeiros e também ambientais.

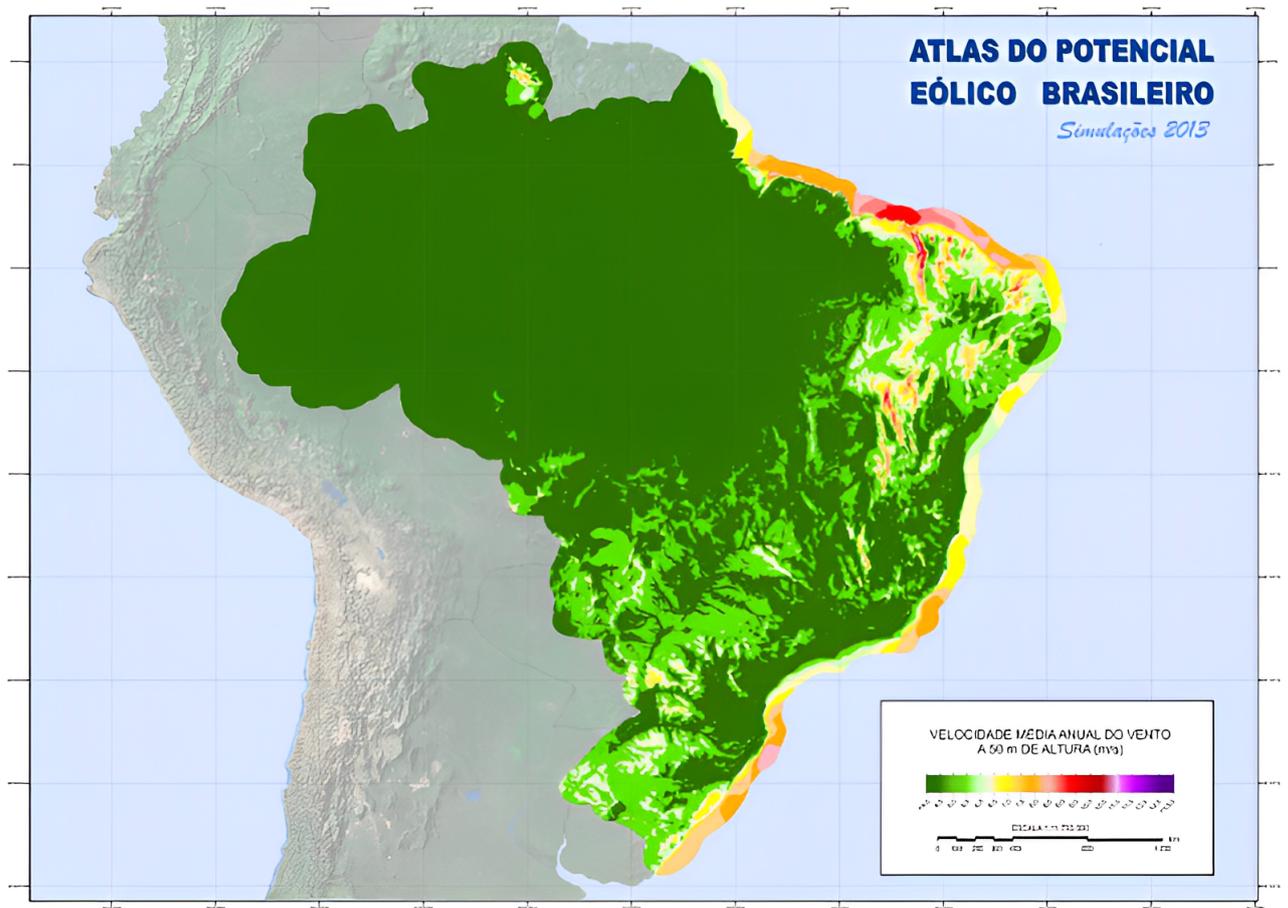
### 2.2.3 Expansão de Energia Eólica

A geração de eletricidade por meio da fonte eólica acontece no Brasil desde o ano de 2005, sendo um dos principais marcos para a expansão de tal fonte de geração de energia elétrica a criação do Programa de Incentivo a Fontes Alternativas, que além de incentivar outras fontes renováveis contou com uma significativa participação na contratação de energia eólica. Essa iniciativa permitiu o desenvolvimento da indústria de aerogeradores no país (ABEEÓLICA, 2023).

Ademais, tivemos como outro marco histórico o início da comercialização de energia eólica nos leilões de energia no ano de 2009, que se apresentou como um grande sucesso (ABEEÓLICA, 2023), e depois de tal marco a presença de empreendimentos eólicos negociados em leilões aumentou significativamente. Desse modo, a partir de tais marcos, pode-se notar um crescimento acelerado na capacidade instalada de tal fonte.

Em suma, é notório que o sucesso da produção de energia eólica está relacionada aos ventos ideais que são encontrados de forma abundante no país (ABEEÓLICA, 2023), bem como o apoio estatal, seja pela inserção de tais fontes em programas de contratação de energia renovável ou pelos leilões, e cabe ressaltar o papel fundamental do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e também de credores internacionais e privados para realizar o financiamento desses projetos.

Figura 2.12 – Atlas Eólico Brasileiro



Fonte: (CEPEL, 2017)

Figura 2.13 – Expansão de Capacidade Instalada de energia eólica até 2021



Fonte: (ABEEÓLICA, 2021)

## 2.2.4 Expansão de Energia Solar

Percebe-se claramente que, de modo inicial, a inserção da energia solar no Brasil encontrou diversas dificuldades para se consolidar como uma importante fonte de geração de eletricidade no país, visto que até 2016 tinha valores pouco expressivos na sua capacidade instalada em comparação com fontes já consolidadas. Posteriormente, no entanto, ocorreu um aumento significativo na implantação da fonte solar no país, o que pode ser atribuído a diversos motivos.

Um dos fatores para o aumento da utilização da energia solar foi a publicação Resolução Normativa ANEEL Nº 482 (ANEEL, 2012), que estabeleceu os procedimentos para a conexão de sistemas de microgeração e minigeração à rede de distribuição. Essa resolução foi revogada pela Resolução Normativa ANEEL Nº 1.059 (ANEEL, 2023b), que atualizou as regras para esses formatos de geração. Nesse sentido, com a criação desse ambiente regu-

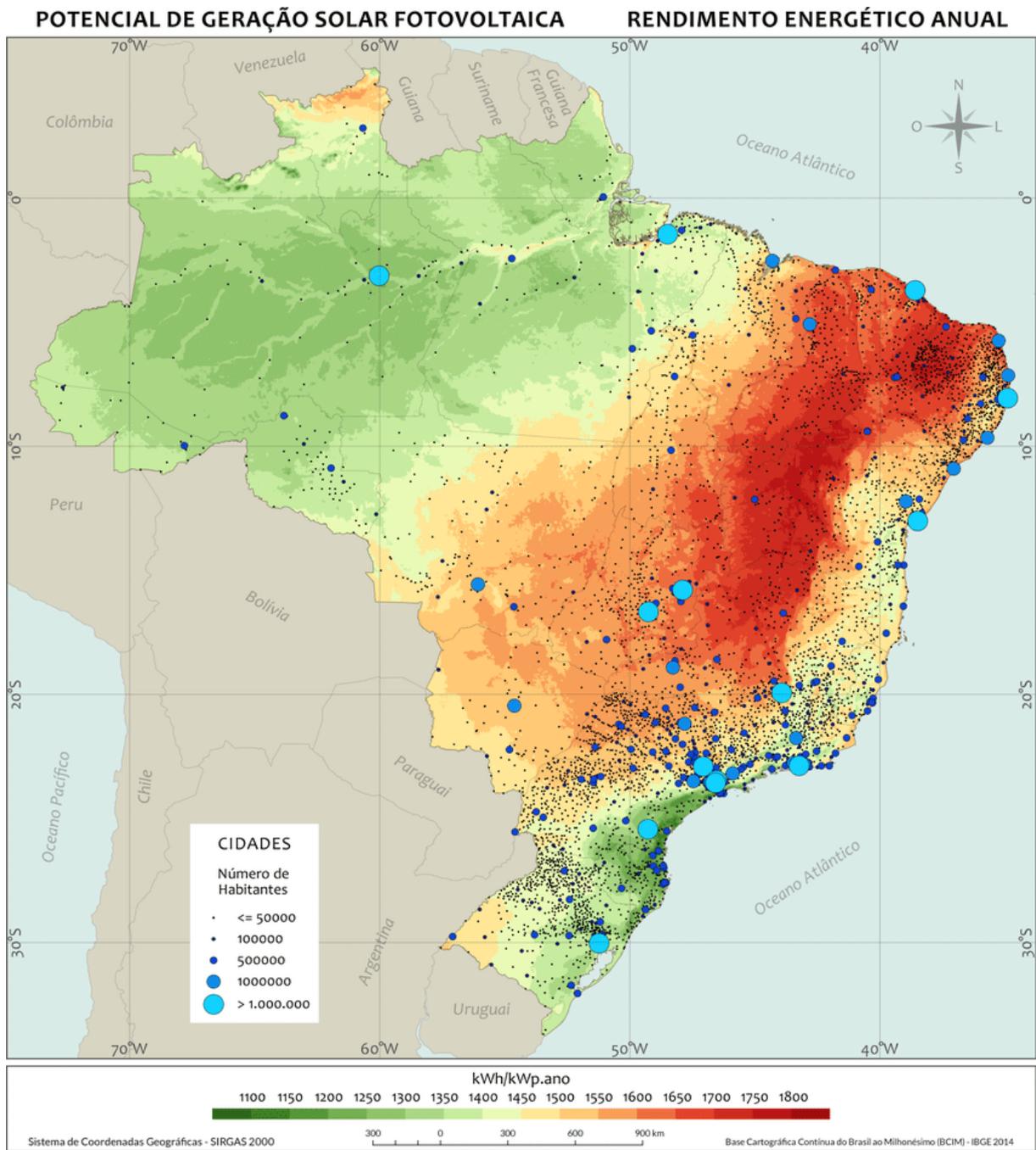
---

latório favorável juntamente com a instituição do marco legal da geração distribuída, por meio da Lei Nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022 (BRASIL, 2022), ocorreu o fortalecimento da utilização da energia solar já que tal fonte é amplamente utilizada na modalidade de geração distribuída. Além do papel crucial que a geração distribuída teve para o aumento de geração solar, mesmo que ainda exista um percentual de geração considerável dessa fonte por meio de usinas centralizadas, que são implementadas por meio dos leilões de energia (BEZERRA, 2021).

Além dos fatores já supracitados para o aumento da fonte fotovoltaica, ocorreu também um declínio nos custos para aquisição dos equipamentos necessários para gerar energia a partir dessa fonte, tornando seu uso mais barato e, desse modo, aumentando significativamente sua capacidade de produção de energia elétrica (BEZERRA, 2021). Adicionalmente, é preciso ressaltar o potencial em território brasileiro para a geração de energia solar favorece a utilização dessa fonte. Esse potencial energético é ilustrado pelo mapa do Atlas Solar brasileiro (PEREIRA et al., 2017), o qual demonstra o rendimento energético anual máximo (medido por meio da razão energia elétrica gerada em um ano medida por kWh e da potência fotovoltaica medida em kWp) por todo o território brasileiro.

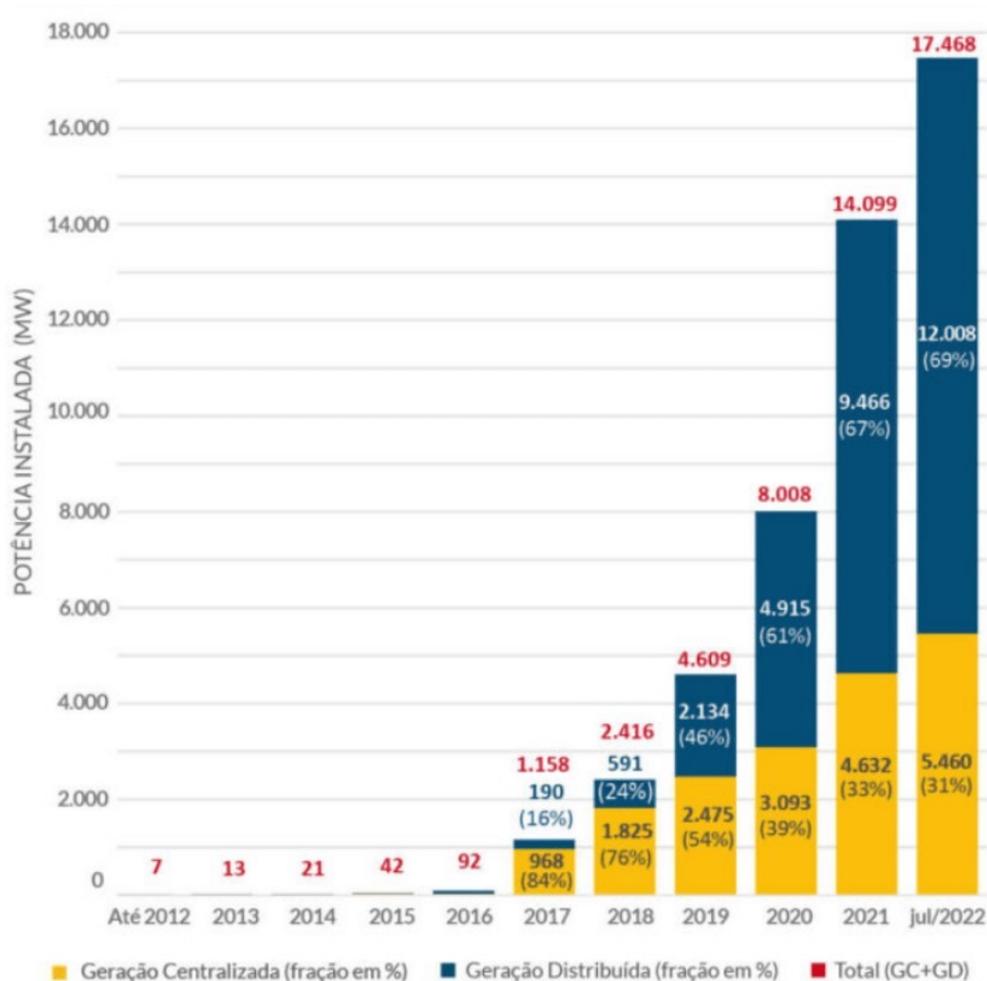
Nesse sentido, com o auxílio desse mapa, nota-se que a região nordeste possui um grande potencial para a geração de energia elétrica a partir da energia solar, principalmente quando comparada com as demais regiões geográficas do Brasil. Destaca-se, portanto, que diante de tal potencial solar nessa região é a que possui a maior parte da capacidade instalada fotovoltaica no país, sendo um dos principais motivos a presença de muitos projetos com a geração centralizada de energia elétrica (BEZERRA, 2021).

Figura 2.14 – Atlas Solar Brasileiro



Fonte: (PEREIRA et al., 2017)

Figura 2.15 – Expansão de Capacidade Instalada de energia solar até julho de 2022



Fonte: (ANEEL e ABSOLAR, 2023)

## 2.3 Setor Elétrico Brasileiro

Durante a década de 1980, o Setor Elétrico Brasileiro (SEB) enfrentou uma profunda crise, resultando em um cenário desafiador, influenciado por diversos fatores. Dentre os desafios, ocorreu a diminuição das transferências fiscais para o setor e o uso de tarifas como instrumento anti-inflacionário e de estímulo às exportações se destacaram, além da vinculação das captações de recursos internacionais à gestão da dívida externa. Esses fatores comprometeram de forma notória a capacidade de financiamento dentro do setor, levando a uma significativa redução dos investimentos (LANDI, 2006).

Diante de tal fato, que mostrou os problemas vivenciados pelo setor elétrico anterior, foi necessária a realização de uma reformulação em seu funcionamento. Tal reformulação passou a contar com uma menor participação estatal, impulsionada por uma onda

---

liberal mundial, que influenciou significativamente as tendências econômicas e políticas vivenciadas pelos governos na América Latina nesse período (ALMEIDA, 2012).

Segundo Almeida (2012), em alinhamento com a corrente liberal da época, diferentes políticas foram promulgadas, dentre elas, destaca-se o Plano Nacional de Desestatização, juntamente com a Lei nº 9.074 (BRASIL, 1995), essa, lei complementou a Lei Geral das Concessões e introduziu novos conceitos para a dinâmica do setor elétrico, como por exemplo, como ocorreria a privatização de áreas de concessão que estavam sobre o controle da união.

A reformulação também incluiu a criação da ANEEL, uma autarquia especial estabelecida pela Lei nº 9.427 (BRASIL, 1996), para melhorar a regulamentação e fiscalização do setor elétrico nacional, beneficiando agentes e consumidores. Desse modo, melhorou-se seu funcionamento para agentes e consumidores. Além disso, foi idealizada a criação da organização denominada como Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) sem fins lucrativos, para ocorrer uma melhor operação no setor e no Sistema Interligado Nacional. Simultaneamente, ocorreu a criação do mercado atacadista de energia, que seria extinto posteriormente por meio da criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) (LANDI, 2006).

Após a crise hídrica experimentada nos anos 2000, ficou evidente a necessidade de diversificar a matriz elétrica brasileira, a fim de evitar a repetição de um cenário semelhante ao enfrentado durante essa crise, quando ocorreu o desabastecimento das usinas hidrelétricas (NUNES, 2019). Ademais, essa crise ressaltou uma necessidade de uma nova reformulação, principalmente pelas críticas direcionadas à gestão governamental realizada em tal período (LANDI, 2006).

Conforme a autora Landi (2006) diante dessa nova reformulação do Setor Elétrico Brasileiro, foi estabelecido um modelo institucional constituído por diversas instituições, que possuem diversas funções específicas dentro do funcionamento do setor, com a finalidade de realizar o planejamento para garantir o suprimento seguro e contínuo de energia bem como para garantir um ambiente mais favorável dentro do setor. Tais instituições estão listadas a seguir juntamente com suas respectivas funções para o funcionamento do setor (ALUPAR, 2023):

Figura 2.16 – Instituições do Setor Elétrico



Fonte: (ALUPAR, 2023)

1. Conselho Nacional de Política Energética – CNPE: Instituição responsável pela elaboração e proposta de políticas públicas e diretrizes do setor, como também, é responsável por orientar o Presidente da República na formulação de políticas no setor
2. Ministério de Minas e Energia – MME: Responsável pela implementação das políticas energéticas no contexto nacional e também exercício do poder concedente
3. Empresa de Pesquisa Energética – EPE: tem o objetivo de realizar estudos e pesquisas para o MME, com o objetivo de auxiliar no planejamento do Setor Elétrico Brasileiro, tal como, na implementação de políticas energéticas e para a realização dos Leilões de energia.
4. Comitê de Monitoramento do Setor Elétrico – CMSE: incumbida por verificar a segurança e conservação do fornecimento de energia no país.
5. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL: É a Autarquia Federal responsável pela regulação e fiscalização do setor elétrico nacional.
6. Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS: Organização sem fins lucrativos responsável por controlar a geração de energia elétrica no país pelo SIN, como também, é responsável por operar a rede básica de transmissão de energia elétrica.

7. Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE: trata-se de uma associação civil, criada para substituir o Mercado Atacadista de Energia, sendo encarregada de viabilizar a compra e venda de energia em todo o país.
8. Agentes: São os responsáveis pelas atividades cruciais na operação do setor elétrico que são: transmissão, geração e distribuição.

### 2.3.1 Modelos de Contratação de Energia

A contratação de energia elétrica no Brasil ocorre de forma majoritária através das formas que estão descritas a seguir:

#### 2.3.1.1 Ambiente de Contratação Regulada

O Ambiente de Contratação Regulada é definido como o modelo de contratação que ocorre entre distribuidores e vendedores de energia elétrica, por meio de licitações, com exceção dos casos que são previstos por lei, adotando regras e procedimentos de comercialização específicos (BRASIL, 2004).

Nesse contexto, as interessadas em adquirir energia conseguem majoritariamente por meio dos Leilões de energia, tanto de empreendimentos já existentes, como também, para empreendimentos que ainda serão construídos. Além disso, a distribuidora interessada em adquirir energia elétrica, com o objetivo de atender a totalidade da demanda, conforme definido no Decreto Nº 5.163 (BRASIL, 2004), tem a opção de contratar energia, além dos leilões de energia, através dos seguintes meios:

- a) Geração distribuída;
- b) Usinas que foram contratadas na primeira fase do PROINFA;
- c) Itaipu Binacional;
- d) cotas de garantia física de energia e de potência definidas para as usinas hidrelétricas cujas concessões sejam prorrogadas ou licitadas;
- e) Angra I e II.

#### 2.3.1.2 Ambiente de Contratação Livre

Aqui os agentes interessados em adquirir energia elétrica conseguem por meio de acordos bilaterais, negociado entre as partes, respeitando a legislação vigente (ANEEL, 2023a). Nesse sentido, os interessados constituem-se de geradores ou comercializadores de energia interessados em vender a energia, e de uma parte interessada em adquirir energia.

## 2.4 Leilões de Energia de Geração

O leilão é definido da seguinte forma:

(MCAFEE; MCMILLAN, 1987) leilão é uma instituição de mercado com um conjunto explícito de regras, determinando a alocação de recursos e preços baseados em lances dos participantes do mercado

Nesse sentido, no Brasil, a principal estratégia para garantir a expansão segura da oferta de eletricidade tem sido a realização de Leilões de Energia para expansão de geração (LOSEKANN; TAVARES, 2019), devido ao aumento constante na demanda de energia elétrica do país, e tais leilões utilizam o critério de menor lance para a definição do seu vencedor. Segundo Viana (2017), esses leilões têm demonstrado eficácia na alocação e no suprimento de energia elétrica, contribuindo para o aumento da eficiência do setor, a modicidade tarifária - que é a busca pela oferta de energia a preços mais baixos possíveis - e a segurança do suprimento energético.

A CCEE (2023) destaca que a realização dessa modalidade de negociação possibilita aumentar a eficiência na comercialização de energia por meio dos contratos firmados entre as partes interessadas, e trazendo simultaneamente a modicidade tarifária para a população que utiliza o serviço de eletricidade, tornando o serviço mais acessível para seus consumidores diante de menores tarifas para eles. Esse fator ocorre como uma das consequências da competição entre os participantes do leilão para adquirir a energia negociada.

Da mesma forma a CCEE (2023) também evidencia que esse modelo de negociação é essencial para a inovação e fortalecimento da matriz brasileira, bem como para a segurança do suprimento e fornecimento de energia elétrica para os consumidores, sendo a principal forma de adquirir energia no âmbito do ACR. Nesse sentido, os Leilões de Energia também são utilizados como mecanismos para elevar a segurança quanto ao fornecimento de energia do SIN e dos seus usuários, que pode ser prejudicado seja por um aumento inesperado da demanda, como também diante de uma falta de energia no SIN. Nesse sentido, a segurança no abastecimento de energia elétrica ocorre a partir do fato que é possível adquirir energia reserva para evitar a falta de suprimento diante de algum problema no abastecimento.

### 2.4.1 Elaboração dos Leilões de Energia

A elaboração dos Leilões de Energia é orientada pelas diretrizes e portarias publicadas pelo MME que estabelecerão as principais normativas e sistemáticas na realização dos leilões de energia realizados no âmbito do ACR (VIANA, 2017). As distribuidoras elaboram relatórios de previsão de demanda futura, que também são levados em consideração nessa elaboração.

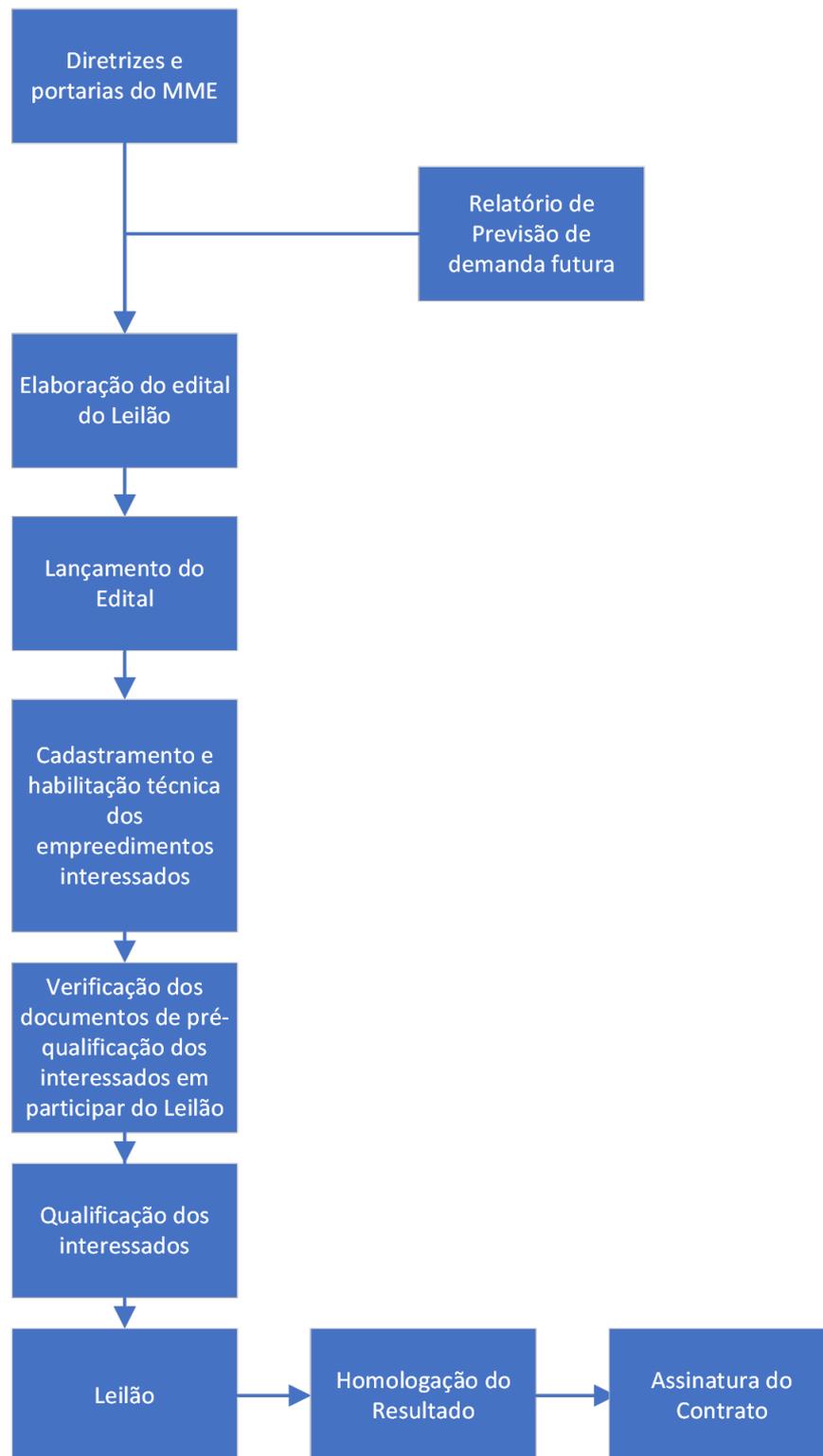
Adicionalmente, como disposto no Decreto nº 5.163 (BRASIL, 2004) a EPE é a entidade responsável pela habilitação técnica e pelo cadastramento dos empreendimentos interessados em participar do leilão de geração. Adicionalmente, a ANEEL é responsável pela elaboração dos editais de tais leilões, baseando-se nas regras e diretrizes estipuladas pelo MME.

Posteriormente, após tal processo, são protocoladas as informações das interessadas em comprar a energia negociada nos leilões, que depois de habilitadas podem participar dos leilões. E por fim, temos a realização propriamente dos leilões que são feitos pela CCEE, com colaboração da ANEEL. Por fim, para a definição do vencedor durante a fase de negociação é utilizado o critério de menor tarifa para trazer a modicidade tarifária para o setor.

Após a conclusão e homologação dos vencedores do leilão realizado, há uma série de etapas subsequentes que precisam ser seguidas. Primeiramente, o vencedor premiado deve cumprir todas as obrigações relacionadas à garantia de fiel cumprimento, conforme estabelecido no edital. Paralelamente, é imperativo que tanto o vendedor como o comprador monitorem o sistema para acompanhar a liberação das garantias de proposta que foram depositadas.

Para os vencedores que ainda não estão associados à CCEE, é essencial iniciar o processo de adesão. Este é um passo vital para assegurar que os prazos para a assinatura dos contratos, como o Contrato de Comercialização de Energia no Ambiente Regulado (CCEAR), o Contrato de Energia de Reserva (CER) e o Contrato de Reserva de Capacidade para Potência (CRCAP), sejam devidamente respeitados .

Figura 2.17 – Fluxograma das Etapas de um Leilão de Energia



Fonte: Elaboração própria

## 2.4.2 Tipos de Leilões

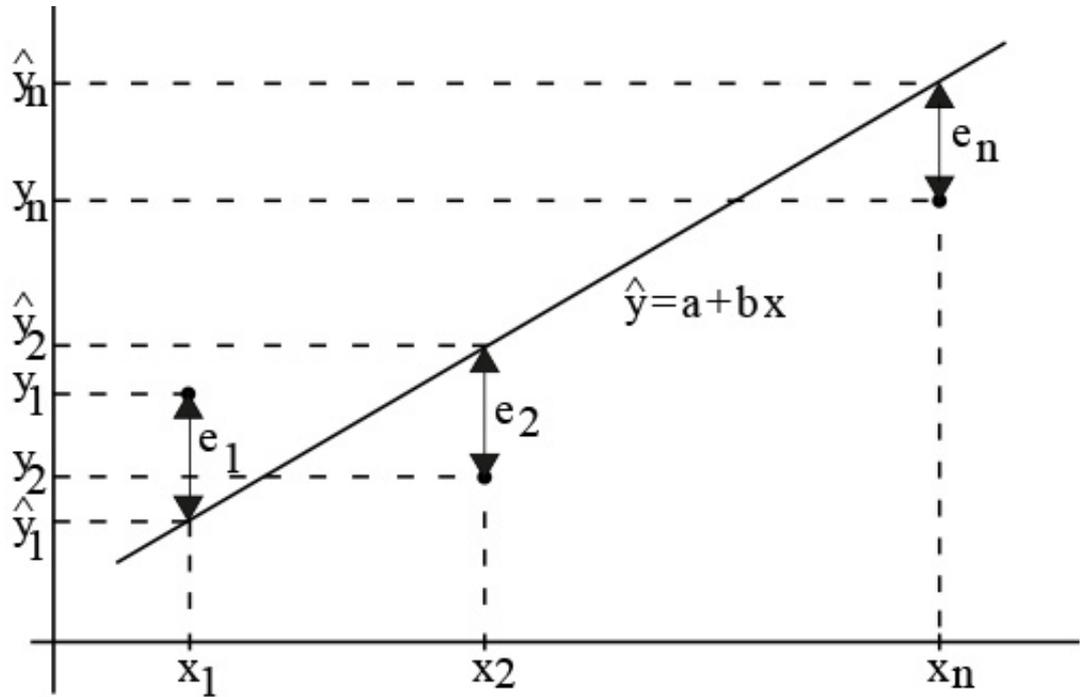
Existem várias modalidades de leilões utilizadas, as quais estão listadas a seguir (CCEE, 2023b):

1. Leilão de Energia Nova – LEN: Nessa modalidade é negociado energia de empreendimentos que ainda vão entrar em construção, tendo como objetivo atender a demanda futura das distribuidoras.
2. Leilão de Energia Existente – LEE: Esse tipo de Leilão é para empreendimentos que já estão construídos, muitas vezes possuindo valores menores, que desejam negociar no ACR.
3. Leilão de Reserva – LER: Essa modalidade tem como objetivo trazer segurança para o fornecimento de energia do SIN, diante de adversidades, sendo celebrados por meio de CER, sendo a cobertura desses gastos pelos consumidores do SIN.
4. Leilão Estruturante – LPE: Nessa modalidade são negociados empreendimentos estratégicos devido ao interesse público envolvido, sendo escolhidos pelo CNPE e tendo aval presidencial.
5. Leilão de Ajuste – LAJ: Essa modalidade traz o adequamento necessário para a contratação de energia que ocorreu em outros empreendimentos.
6. Leilão de Fontes Alternativas – LFA: Esse tipo de Leilão foi instituído com a finalidade de ser um mecanismo para inserção de fontes renováveis na matriz elétrica nacional. Esses certames ocorrem com uma baixa frequência e tendo como principais modalidades de usinas negociadas Hidrelétricas de pequeno porte, Biomassa, eólicas e solares.
7. Leilão de Sistema Isolado – LSI: Ocorre para garantir a contratação de energia, com a finalidade do abastecimento de energia para as localidades que não estejam integradas ao SIN.

## 2.5 Regressão Linear Simples

A técnica de Regressão Simples é usada com o objetivo de determinar a equação de uma reta que descreve a relação entre duas variáveis (CHEIN, 2019). Dessa forma, a análise ocorre por meio de relacionar a variável  $y$ , denominada variável dependente, que tem o seu comportamento explicado pela variável  $x$ , que é referida como variável explicativa, regressor ou variável independente (CHEIN, 2019). A Figura 2.18, que está exposta a seguir, simboliza bem a estratégia da utilização da regressão linear:

Figura 2.18 – Exemplo de Regressão Linear



Fonte: (MARTINS, 2019)

A equação da regressão linear, quando consideramos apenas uma variável independente, é definida da seguinte forma (AZEVEDO, 2016):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (2.1)$$

Onde:

- $y$  é a variável dependente.
- $x$  é a variável independente.
- $\beta_0$  é o intercepto, representa o valor esperado de  $y$  quando  $x = 0$ .
- $\beta_1$  é o coeficiente de inclinação, representa a mudança esperada em  $y$  para uma unidade de mudança em  $x$ .
- $\epsilon$  é o erro aleatório, que representa as variações em  $y$  que não são explicadas pelo modelo.

### 2.5.1 Cálculo do $\beta_0$ e $\beta_1$

O cálculo dos parâmetros da regressão linear, serão apresentados nessa seção. Assim, a equação do coeficiente de inclinação da linha de regressão linear simples ( $\beta_1$ ) é dada por (AZEVEDO, 2016):

$$\beta_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (2.2)$$

Onde:

- $\beta_1$ : é o coeficiente de inclinação da linha de regressão.
- $x_i$  e  $y_i$ : são as observações individuais das variáveis para as observações dos valores de  $x$  e  $y$ , respectivamente.
- $\bar{x}$ : é a média dos valores da variável independente  $x$ .
- $\bar{y}$ : é a média dos valores da variável dependente  $y$ .
- $n$ : é o número total de observações.

A equação do intercepto ( $\beta_0$ ) em regressão linear simples é dada por:

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x} \quad (2.3)$$

Onde:

- $\beta_0$  é o intercepto da linha de regressão. Representa o valor esperado de  $y$  quando  $x = 0$ .
- $\bar{y}$  é a média dos valores da variável dependente  $y$ .
- $\beta_1$  é o coeficiente de inclinação da linha de regressão.
- $\bar{x}$  é a média dos valores da variável independente  $x$ .

### 2.5.2 Coeficiente de Correlação de Pearson

O Coeficiente de Correlação de Pearson, representado por  $R$  indica a força e direção da relação linear entre duas variáveis. Seu valor oscila entre -1 e 1, e quanto mais próximo, em módulo, o valor de  $R$  estiver de 1, mais forte será a associação entre as variáveis, e quanto mais perto de 0 menor essa relação (MARTINS, 2014).

Adicionalmente, é válido destacar que para valores positivos de  $R$  ocorre a indicação de uma associação linear positiva entre as variáveis, sugerindo que, quando uma aumenta, a outra também tende a aumentar (PARANHOS et al., 2014). Por outro lado, valores negativos

de  $R$  sinalizam uma associação linear negativa, onde o aumento de uma variável está associado à diminuição da outra (PARANHOS et al., 2014). Todavia, é importante destacar que esse coeficiente não implica necessariamente em causa e efeito entre as variáveis analisadas (MARTINS, 2014).

Por fim, a autora Martins (2014) define a seguinte equação para o cálculo de  $R$ :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2.4)$$

Onde:

- $R$ : é o coeficiente de correlação de Pearson.
- $n$ : é o número total de pares de dados.
- $x_i$  e  $y_i$ : são as observações individuais para as variáveis  $x$  e  $y$ , respectivamente.
- $\bar{x}$  e  $\bar{y}$ : representam as médias das observações para as variáveis  $x$  e  $y$ , respectivamente.

### 2.5.2.1 Coeficiente de Determinação

O coeficiente de determinação, definido como  $R^2$ , reflete o grau de adequação da regressão linear às variáveis  $x$  e  $y$  (MARTINS, 2019). Quanto mais próximo de 1 for o valor de  $R^2$ , mais apropriado é considerar os dados como representativos de uma relação linear.

Nesse sentido, não se pode assumir automaticamente que um valor elevado de  $R^2$  (próximo de 1) indica uma adequação perfeita do modelo aos dados (MARTINS, 2019). Da mesma forma, um  $R^2$  baixo pode ser influenciado por um ponto muito distinto do conjunto de dados, mesmo que a maioria dos dados se alinhe bem a uma linha reta (MARTINS, 2019). Portanto, é crucial uma análise visual prévia dos dados através de um diagrama de dispersão (MARTINS, 2019).

## 2.6 Considerações Finais do Capítulo

Em resumo, por meio da revisão bibliográfica realizada nesse trabalho, foram abordados diversos conceitos fundamentais para a compreensão do fenômeno da transição energética. Destacou-se a importância de uma transição energética justa, que promova o desenvolvimento social da população e, ao mesmo tempo, busque a descarbonização do processo de geração de energia para mitigar o efeito das mudanças climáticas.

Além disso, a revisão bibliográfica também abordou as reformulações do setor elétrico, incluindo as instituições, leis e motivos envolvidos nas reformas desse setor. Nesse capítulo

também foi destacada a evolução da matriz elétrica brasileira, por meio de uma comparação e evidenciando a forte presença de fontes renováveis na sua composição, principalmente em comparação com os países desenvolvidos.

Outro ponto trazido nesse capítulo, foi o leilão de energia para expansão da geração, incluindo os diferentes tipos de leilão e os procedimentos envolvidos em sua formulação. Também foi ressaltada a importância desse mecanismo para a inserção de diversas fontes de energia na matriz elétrica brasileira. Ademais, foi incluída uma seção explicativa do modelo estatístico de regressão linear simples, que será útil nas futuras partes do trabalho.

Dessa forma, no próximo capítulo será realizada uma investigação detalhada dos dados das negociações e das usinas presentes nesses leilões, a fim de analisar o desempenho das diferentes fontes ao longo do histórico desses leilões realizados. Principalmente, observando o comportamento das fontes renováveis a fim de destacar a importância dos leilões de expansão de geração no contexto da transição energética

Nessa perspectiva, serão analisadas as fontes renováveis nesse mecanismo como um meio de alcançar uma melhor descarbonização no setor de geração de energia elétrica. Além disso, será examinado o impacto dos leilões no aspecto de geração de empregos como um meio para o desenvolvimento social, trazendo o aspecto ambiental e social da transição energética.

## 3 Metodologia

Nesta seção do trabalho, será descrita a metodologia utilizada, que tem como objetivo verificar a importância da realização do leilão de energia para expansão de geração para a transição energética no contexto brasileiro. Assim, será exposto como ocorreu a obtenção dos dados e bem como o tratamento dado a eles, e adicionalmente, será diferenciado o tratamento dos dados na metodologia entre uma perspectiva econômica, técnica e ambiental. Dessa forma, serão abordados de maneira abrangente os objetivos específicos estabelecidos neste estudo.

Nesse sentido, para representar de forma sistemática e estruturada a metodologia presente no trabalho, foi confeccionado um fluxograma que delinea meticulosamente cada etapa da metodologia empregada. Esta representação gráfica visa proporcionar uma compreensão clara das fases metodológicas. O referido fluxograma é detalhado na Figura 3.1, que está exposta a seguir:

Figura 3.1 – Fluxograma da metodologia do trabalho



Fonte: Elaboração própria

### 3.1 Obtenção dos dados e Formulação do Histórico

Em pesquisas e análises voltadas ao setor elétrico, a robustez e a acurácia dos dados são cruciais. Nesta seção, é mostrado o rigoroso processo de coleta e formulação dos dados históricos que embasam nosso estudo. A seguir, são descritos detalhadamente os métodos e fontes empregados na obtenção dessas informações.

Os leilões considerados no estudo serão os de expansão de geração, excluindo empreendimentos que atendam ao sistema isolado. Esses leilões englobam as seguintes modalidades: LEN, LER, LPE e LFA.

### 3.1.1 Obtenção de Dados Dos Leilões de Expansão de Geração

Para conseguir obter os dados dos leilões de expansão de geração que são relevantes para o trabalho, foi utilizada a formulação do histórico dos leilões de energia com base nos dados divulgados pela ANEEL juntamente com os disponibilizados pela CCEE (CCEE, 2023a), referentes aos empreendimentos negociados nessa modalidade. Os dados, obtidos e utilizados para a formulação do histórico, foram obtidos no *Power BI* da ANEEL (ANEEL, 2023c) juntamente com as planilhas eletrônicas de ambas as instituições. Além disso, esses dados se referem do primeiro leilão de energia nova no ano de 2005 até o último leilão de expansão de geração realizado no ano de 2022.

Para que fosse construído um histórico com os maiores detalhes possíveis, foram utilizadas as informações divulgadas de cada leilão de expansão de geração realizado. Esses dados demonstram diversos aspectos do impacto desses empreendimentos, como, por exemplo, a estimativa de empregos diretos gerados.

### 3.1.2 Obtenção de Dados Consumo e Oferta

Para analisar o consumo elétrica e a disponibilidade de energia elétrica no país ao longo dos anos, foi utilizada as planilhas eletrônicas divulgadas pela EPE (EPE, 2023c). Assim, essa série de documentos oferece uma análise abrangente da evolução do consumo e da oferta interna de energia elétrica no país, entre os anos de 1970 e 2022, destacando as tendências de consumo e oferta dentro do setor elétrico nacional durante esse período.

## 3.2 Perspectiva Econômica

Utilizando o histórico dos dados dos Leilões de Energia de Expansão de Geração, será realizada a comparação de diversos aspectos econômicos dos empreendimentos negociados nessa modalidade, bem como a oferta e consumo da rede elétrica nacional. Para as análises deste trabalho, os valores serão corrigidos pelo Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), de janeiro de 2023, com o objetivo de ajustar os preços negociados aos valores atuais e garantir uma comparação consistente.

Levando em consideração essa correção de preços, teremos como objetivo realizar a comparação de diversas características entre essas fontes para verificar como o ambiente dos leilões se comportou pensando em favorecer as fontes renováveis para uma melhor implantação da transição energética do Brasil. Desse modo, o objetivo é avaliar como os leilões favoreceram as fontes renováveis, verificando a evolução das características apresentadas nos objetivos específicos do trabalho ao longo do tempo.

Para destacar a dimensão social da transição energética no país, será analisado o impacto social a partir da geração de novos empregos oriundos dos leilões de energia voltados

para a expansão da geração. Assim, foi utilizada a estimativa da ANEEL referente ao número de empregos diretos gerados devido aos empreendimentos que foram negociados nesses leilões. Em seguida, foi correlacionado esse número com a potência instalada de cada fonte durante os leilões, objetivando identificar qual delas se mostrou mais eficiente nesse quesito.

Em suma, essa parte da metodologia tentará responder a maioria dos objetivos específicos apresentados no primeiro capítulo do trabalho. A metodologia empregada possui um caráter abrangente por analisar diferentes aspectos entre fontes.

### 3.2.1 Aplicação da Regressão Linear Simples

Dentro da análise econômica desse trabalho, é crucial entender como a relação entre os aspectos econômicos se relacionam, principalmente nas relações entre a capacidade instalada e na geração estimada de empregos e também de investimento previsto na implementação das usinas. Para isso, será utilizada a técnica estatística de regressão linear simples, que é amplamente utilizada em estudos econômicos devido à sua eficácia em quantificar e prever relações lineares entre uma variável dependente e uma variável independente.

#### 3.2.1.1 Justificativa

Será utilizada a técnica de regressão linear simples para examinar a correlação entre a geração estimada de empregos e a capacidade instalada, bem como entre a capacidade instalada e os investimentos requeridos. Esta abordagem proporciona uma visão profunda das interações dessas variáveis, potencializando a compreensão de suas dinâmicas inter-relacionadas.

#### 3.2.1.2 Procedimento

Os dados coletados serão primeiramente tratados para garantir que não haja valores que possam afetar os resultados. Posteriormente, será aplicada a análise de regressão linear simples utilizando o software Microsoft Excel® para determinar as relações entre as variáveis de interesse. A reta gerada será mostrada na figura com o gráfico de dispersão, juntamente com o valor de  $R^2$  na imagem.

## 3.3 Perspectiva Técnica

Neste segmento metodológico, ocorrerá uma análise do histórico da oferta e consumo de energia elétrica no Brasil. O objetivo principal é compreender o equilíbrio do sistema energético nacional, identificando tendências e desafios no setor. Adicionalmente, ocorrerá uma análise do total de potência dos empreendimentos negociados em leilões, bem como a contratação de energia.

### 3.3.1 Cálculo da Oferta de Energia Elétrica

Para quantificar a oferta de energia elétrica no país, em MWmed<sup>1</sup>, utilizamos a equação:

$$OEE = P + M \quad (3.1)$$

Onde:

- OEE: Oferta de Energia Elétrica.
- $P$ : Produção de Eletricidade.
- $M$ : Importação de Energia.

### 3.3.2 Análise da Oferta versus Consumo Total

Para entender o equilíbrio entre a oferta e o consumo total de energia elétrica, será adotada a seguinte fórmula, também em MWmed:

$$\Delta E = OEE - C_f - X \quad (3.2)$$

Onde:

- $\Delta E$ : Diferença entre a Oferta e o Consumo Total de Eletricidade.
- OEE: Oferta de Energia Elétrica.
- $C_f$ : Consumo Final de Eletricidade.
- $X$ : Exportação de Energia Elétrica.

### 3.3.3 Análise da Energia Contratada e Potência nos Leilões

Dentro desse estudo, será realizada uma análise quantitativa abrangente sobre a energia contratada em todos os leilões de expansão de geração, independentemente da sua modalidade, bem como a potência dos empreendimentos por fonte negociada nos mesmos. O principal objetivo é mostrar a evolução, bem como as tendências dentro desse processo de contratação, permitindo uma visão detalhada da dinâmica do tipo de energia e potência ofertada dentro do contexto nacional.

Particularmente em relação aos empreendimentos termelétricos, a análise se aprofundará, segmentando-se a quantidade de energia contratada nos leilões conforme o tipo de combustível empregado em cada usina. Essa segmentação do tipo de combustível utilizado

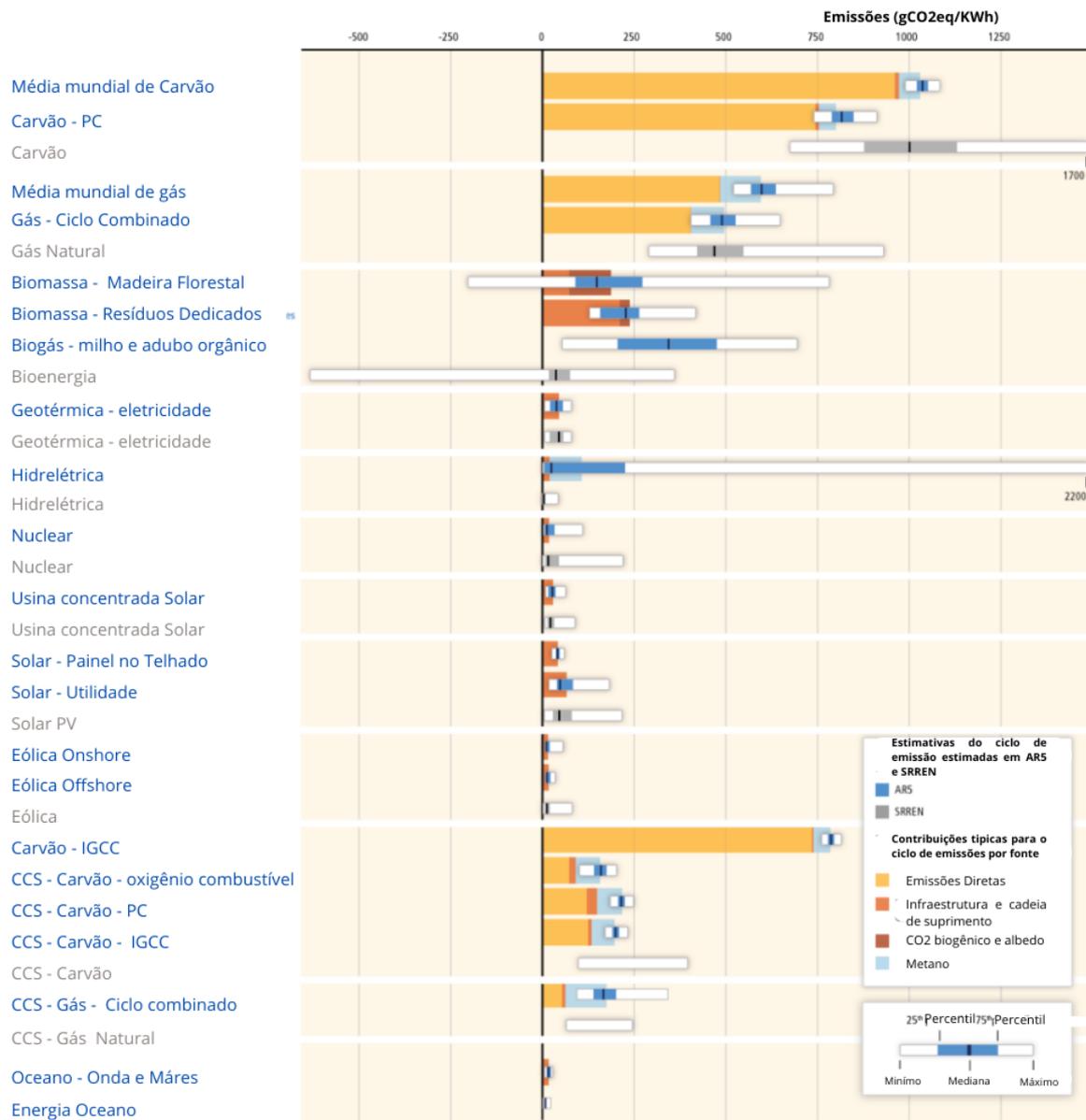
<sup>1</sup> 1 MWmed = 8760 MWh/ano.

nessas usinas é justificada devido à influência direta da fonte de energia utilizada na produção de energia sobre a quantidade de emissões de gases poluentes gerados nesse processo de geração. Além disso, será analisada a potência de cada empreendimento em função do tipo de fonte energética.

### **3.4 Perspectiva Ambiental**

Essa seção da metodologia tem como objetivo demonstrar o papel dos leilões na redução das emissões de carbono na geração de energia elétrica. Para isso serão analisados diferentes cenários de contratação de energia para isso. Para quantificar essa redução, nos basearemos na Figura 3.2, que apresenta a estimativa de emissão equivalente de gás carbônico na produção de 1 KWh por diferentes fontes geradoras. A imagem é apresentada a seguir:

Figura 3.2 – Fator de emissão por Fonte na produção de energia elétrica



Fonte: Traduzido de (BRUCKNER et al., 2014)

Com base nos fatores de emissão apresentados no estudo mencionado anteriormente e nas estimativas que também são fornecidas pela EPE para algumas fontes, ao aplicarmos esses dados à quantidade de energia contratada de cada fonte em cada leilão, será possível evidenciar o impacto dos leilões de expansão de geração na descarbonização da matriz elétrica. Essa análise será por meio da comparação de cenários com o que foi contratado. Dessa forma, poderíamos demonstrar como os leilões impactariam as emissões de CO<sub>2</sub> equivalente, caso a contratação dessa energia fosse conduzida de diferentes formas.

Diante do exposto, teremos os seguintes cenários, que calcularemos as emissões de gás carbônico equivalente em cada caso, pensando na contratação de energia:

- i **Predominância Termelétrica:** Considera-se que 70% da energia contratada em cada leilão é proveniente de usinas termelétricas a gás natural. Os 30% restantes são divididos igualmente entre as fontes renováveis: solar, eólica e hidrelétrica.
- ii **Equilíbrio Renovável:** Neste cenário, 50% da energia contratada provém de fontes renováveis, equitativamente distribuídas entre solar, eólica e hidrelétrica. Os demais 50% são supridos por termelétricas a gás natural.
- iii **Predominância Renovável:** Este cenário propõe uma inversão do cenário i. Aqui, 70% da energia contratada é derivada de fontes renováveis, com os restantes 30% oriundos de termelétricas a gás natural.
- iv **Maioria Renovável:** Aqui, 80% da energia contratada é proveniente de fontes renováveis, com uma distribuição igualitária entre solar, eólica e hidrelétrica. Os 20% restantes são de termelétricas a gás natural.
- v **Renovação Avançada:** Nesse cenário, propõe-se que 90% da energia contratada seja derivada de fontes renováveis, distribuídas igualmente entre solar, eólica e hidrelétrica. Apenas 10% é oriunda de termelétricas a gás natural.
- vi **Renovação Total:** No cenário mais ambicioso, propõe-se que 100% da energia contratada seja derivada de fontes renováveis, distribuídas igualmente entre solar, eólica e hidrelétrica.

A Tabela 3.1, mostrada a seguir, exhibe a média dos fatores de emissões citados no estudo, bem como os valores fornecidos pela EPE, relacionados às fontes energéticas presentes nos leilões que serão analisados. Assim, é importante ressaltar que se recorreu ao estudo para complementar os fatores das fontes que não foram publicados pela EPE (2022):

Tabela 3.1 – Fatores de Emissão por Fonte Elétrica

Fonte Elétrica	Fator de Emissão (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)
Biomassa	200
Carvão	1099
Eólica Onshore	7
Gás Natural	532
Hidrelétrica	70
Óleo Combustível	774
Óleo Diesel	762
Solar Centralizada	60

Fonte: Adaptado de (BRUCKNER et al., 2014) e (EPE, 2022b)

## 3.5 Limitação da metodologia

### 3.5.1 Limitação da abordagem econômica e técnica

A metodologia desse trabalho utilizará todos os empreendimentos negociados, somente excluindo os que foram efetivamente cancelados. Isso se deve ao fato de mesmo que sejam revogados, esses empreendimentos ainda têm impactos nos preços negociados (R\$/MWh), devido a terem sido negociados juntamente com os demais empreendimentos. Além disso, as usinas que foram revogadas ainda fornecem estimativas para o investimento necessário e custo necessário na implantação das usinas negociadas, e mesmo que não tenha sido construída ainda terão custos indiretos em seu planejamento.

Adicionalmente, para a quantificação de empregos, serão considerados os empregos diretos estimados pela ANEEL. Estes não se restringem somente aos trabalhos realizados na obra em si, mas englobam todos os profissionais envolvidos nas atividades produtivas relacionadas a ela. Além disso, também são incluídos os empregos vinculados à manutenção e operação contínua dos empreendimentos.

Contudo, é importante destacar que devido ao estudo focar somente nos empregos diretos, isso pode subestimar o impacto socioeconômico total dos empreendimentos negociados nos leilões. Os empregos indiretos, emergentes na cadeia de suprimentos ou nos setores beneficiados indiretamente pela atividade principal, bem como os impactos decorrentes da renda gerada, não são contemplados. Essa omissão pode representar uma parcela significativa dos benefícios sociais e econômicos totais.

### 3.5.2 Limitação da abordagem ambiental

Quanto à abordagem ambiental do trabalho, é importante considerarmos a energia contratada total, devido à dificuldade de se obter quanto foi efetivamente consumida de cada fonte, que teve sua energia negociada em leilão. Além disso, se levarmos em conta a totalidade da energia contratada poderemos mostrar as intenções e objetivos dentro dos leilões pensando na descarbonização da matriz elétrica nacional.

Além disso, uma limitação marcante deste trabalho é a consideração de um único fator de emissão para as fontes. Isso, pode tornar-se menos realista ao desconsiderar as diversas formas de produção de uma mesma fonte de energia e ao focar em um fator de emissão mais generalizado. Ademais, essa abordagem pode não refletir adequadamente a realidade brasileira, por não considerar fatores locais e ter uma perspectiva mais globalizada no estudo. Um dos fatores mais notáveis é a fonte hidrelétrica, que tem seu fator de emissão variando sensivelmente conforme as especificações no projeto da usina hidrelétrica ([BRUCKNER et al., 2014](#)).

Dessa forma, ressalta-se que os leilões envolveram a negociação de várias usinas ter-

melétricas movidas a biomassa alimentadas por diferentes combustíveis e origens. Portanto, o fator de emissão pode apresentar variações significativas. O valor indicado refere-se a uma estimativa média das emissões de usinas que utilizam biomassa que foi apontado no estudo.

### 3.6 Considerações Finais da Metodologia

Neste capítulo, foi exposta a metodologia empregada para conseguir compreender os leilões de expansão de geração e sua importância para a transição energética brasileira. A abordagem metodológica do trabalho foi dividida entre uma perspectiva econômica, técnica e ambiental.

Deu-se destaque à análise retrospectiva baseada nos dados divulgados pela ANEEL e também pela CCEE, proporcionando um entendimento da evolução dos leilões de energia de expansão de geração desde 2005 até o ano de 2022. Essa visão histórica se mostrou essencial para entender como os leilões têm sido instrumentos para incorporar diferentes fontes de energia na matriz elétrica brasileira. Além disso, foi abordado como a coleta de dados da oferta e demanda de eletricidade, divulgada pela EPE, no país foi realizada.

Além disso, foram abordados os aspectos econômicos associados aos empreendimentos, como também a correção de valores utilizando o IPCA para deixar os valores mais comparáveis. Ademais, os leilões de expansão de geração têm um significativo impacto socioeconômico. Isso é destacado pela projeção dos empregos diretos resultantes dos empreendimentos negociados.

Por outro lado, a abordagem técnica foi elaborada com a finalidade de analisar tanto a energia contratada quanto a potência dos empreendimentos adquiridos nestes leilões. Adicionalmente, essa seção teve a formulação de equações que esclarecem a dinâmica entre oferta e demanda de energia elétrica no Brasil, um componente indispensável para entender o cenário energético do país e por conseguinte, dos leilões.

Quanto à abordagem ambiental ressaltou a importância dos leilões para a descarbonização da matriz energética. Isso será avaliado por meio da comparação entre cenários teóricos de contratação de energia, baseados no fator de emissão de cada fonte, e a contratação de energia que ocorreu no devido leilão de expansão de geração. Por fim, é importante mencionar que foram abordadas as possíveis limitações dessa metodologia em uma seção no capítulo.

No capítulo seguinte, serão apresentados os resultados derivados da análise dos dados mencionados, seguidos de uma discussão aprofundada sobre suas implicações e relevância.

## 4 Resultados e Discussão

Baseando-se nos dados de cada leilão de aumento de geração divulgados pela ANEEL, EPE e CCEE, serão analisados os resultados para atender os objetivos específicos do trabalho.

### 4.1 Empreendimentos Negociados

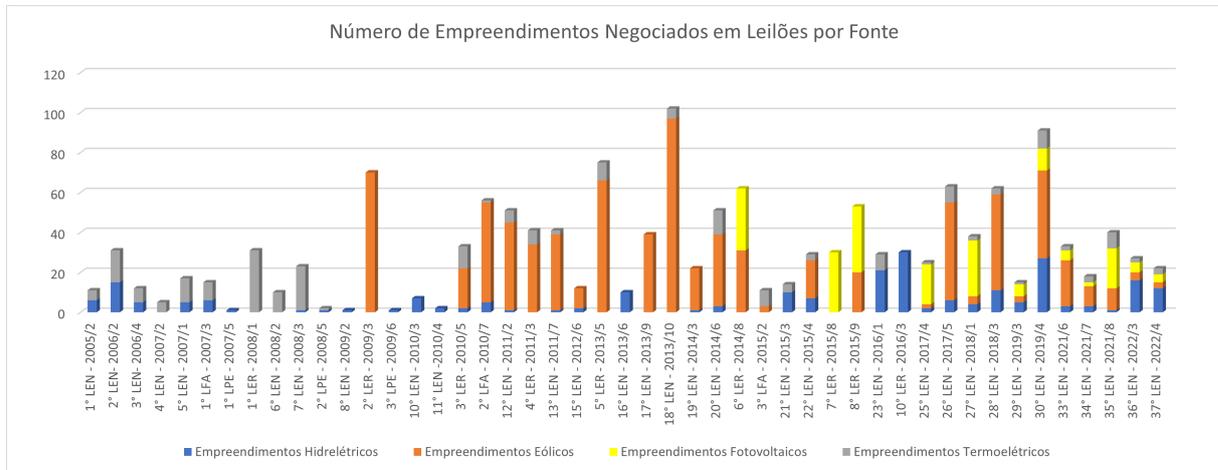
A Figura 4.1 apresenta um gráfico de barras que ilustra a quantidade de empreendimentos negociados em leilões de acordo com o tipo de fonte energética. Essa análise dos empreendimentos negociados revela as fontes de energia predominantes nas negociações dos leilões. Nesse sentido, observa-se que a maior parte dos empreendimentos negociados foram provenientes da fonte eólica. Além disso, foram negociados, em quantidades semelhantes, empreendimentos das fontes hidrelétrica e termoeétrica. Por fim, observou-se uma menor quantidade de empreendimentos com geração solar.

Ao analisar a Figura 4.1 torna-se perceptível a forte inclusão de empreendimentos de origens renováveis para a compra de energia por parte das distribuidoras. Podemos destacar isso ao analisar que cerca de 84% dos lotes negociados foram das fontes hidrelétricas, eólica e solar. Desse modo, pode-se concluir que os leilões têm uma tendência em negociar empreendimentos de fontes renováveis, levando a uma geração de energia elétrica com menos emissões de gases poluentes ao meio ambiente, caso menos empreendimentos termelétricos fossem contratados em vez dessas fontes.

Os leilões, no início, davam preferência, em grande parte, às usinas termelétricas, com uma representatividade menor de empreendimentos de geração hídrica. No entanto, a dinâmica mudou após o 2º LER em 2009 (LER/2009), que contou exclusivamente com a participação da fonte eólica. A partir desse momento, notou-se um aumento significativo da participação das usinas eólicas nos leilões seguintes.

Dentro da série histórica de leilões, o 18º LEN (LEN A-5/2013) surge como um momento importante para o setor eólico. Esse leilão registrou a maior quantidade de empreendimentos, bem como a maior capacidade instalada desse setor. Esse movimento mostra o crescente reconhecimento e valorização da energia eólica dentro dos leilões, consolidando sua relevância na matriz elétrica nacional. Posteriormente, no 6º LER em 2014 (LER/2014) a fonte fotovoltaica foi incluída nos leilões, começando a negociação dessa fonte energética. Constatou-se que tanto os empreendimentos fotovoltaicos quanto os eólicos apresentaram regularidade na participação entre os empreendimentos que foram negociados nos leilões subsequentes.

Figura 4.1 – Número por tipo de empreendimentos negociados em leilões



Fonte: Elaboração própria

Essa diversidade de fontes negociadas nos leilões demonstra um movimento para diversificar a matriz elétrica brasileira. A inclusão de forma majoritária de fontes renováveis é evidência de uma estratégia alinhada com a transição energética global. Assim, é possível concluir que a presença de uma variedade de fontes é vital para a expansão do segmento de geração do setor elétrico no Brasil, especialmente no que diz respeito à adoção de práticas mais sustentáveis e à contribuição para os esforços de descarbonização.

Além disso, por meio da figura acima pode-se notar que os Leilões de Energia Reserva foram essenciais para permitir a inclusão das fontes renováveis já que as usinas eólicas e solares começaram a ser negociadas nesse tipo de leilão. Essa observação é reforçada ao analisar os empreendimentos negociados no LER, sendo a maioria composta por usinas de energia renovável. Diante do exposto, podemos notar que essas fontes são imprescindíveis para a segurança do abastecimento de energia elétrica para o país, já que contam com uma participação significativa em LER, cujo os vencedores realizam a contratação de energia de reserva.

#### 4.1.1 Localização dos empreendimentos

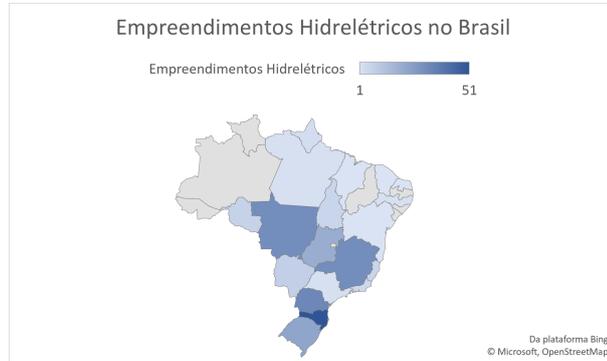
A Figura 4.2 permite uma visualização da distribuição territorial dos empreendimentos conforme a fonte energética. Um ponto relevante apresentado por essa imagem é a difusão de hidrelétricas e termelétricas por meio do território nacional, estando presentes na maioria das regiões do Brasil, enquanto, as demais fontes estão concentradas

Nessa perspectiva, podemos notar que os empreendimentos eólicos se concentram na região nordeste do país e também do estado do Rio Grande do Sul, devido ao potencial de exploração presente nessas zonas. Dessa forma, tal atividade produtiva pode ser essencial para

o desenvolvimento socioeconômico para a população, além de garantir um abastecimento por meio de fontes limpas para a produção de eletricidade.

Figura 4.2 – Distribuição dos empreendimentos por fonte no território brasileiro

(a) Distribuição Hidrelétrica



(b) Distribuição Eólica



(c) Distribuição Fotovoltaica



(d) Distribuição Termoelétrica



Fonte: Elaboração própria

Como destacado pela figura 4.2 a fonte solar está instalada em mais regiões brasileiras que a eólica. Tal fato ocorre ao compararmos os gráficos do potencial eólico e solar, já que para o eólico temos que seu potencial de geração se concentra na faixa litorânea do país, e a solar tem a possibilidade de explorar no interior do território. Isso sugere uma oportunidade para impulsionar o desenvolvimento em áreas mais internas do país.

Outro ponto importante de se considerar é a presença de empreendimentos termoelétricos na região norte do Brasil sendo que a maioria deles faz o uso de óleo diesel e gás natural como combustível, o que pode dificultar a manutenção da política de utilizar fontes que emitam menos gás carbônico no processo de geração de energia nessa região, pensando no processo de descarbonização na produção de energia elétrica.

Ademais, destaca-se a falta de empreendimentos hidrelétricos nesta região. Tal fator ocorre devido às dificuldades de realizar as construções das usinas nessas áreas, bem como a expansão da infraestrutura necessária. Conforme mencionado anteriormente, a maior parte do potencial hidrelétrico ainda não explorado no país encontra-se nessa região.

## 4.2 Geração de Empregos por MW instalado

A capacidade de geração de empregos, associada a diferentes fontes geradoras de energia elétrica, constitui uma métrica crucial para avaliar o impacto socioeconômico dessas fontes. A Figura 4.3 apresenta um gráfico de dispersão ilustrando esta relação, destacando a capacidade instalada de várias fontes de energia em relação ao número de empregos diretos gerados por usinas negociadas em leilões de energia de expansão de geração.

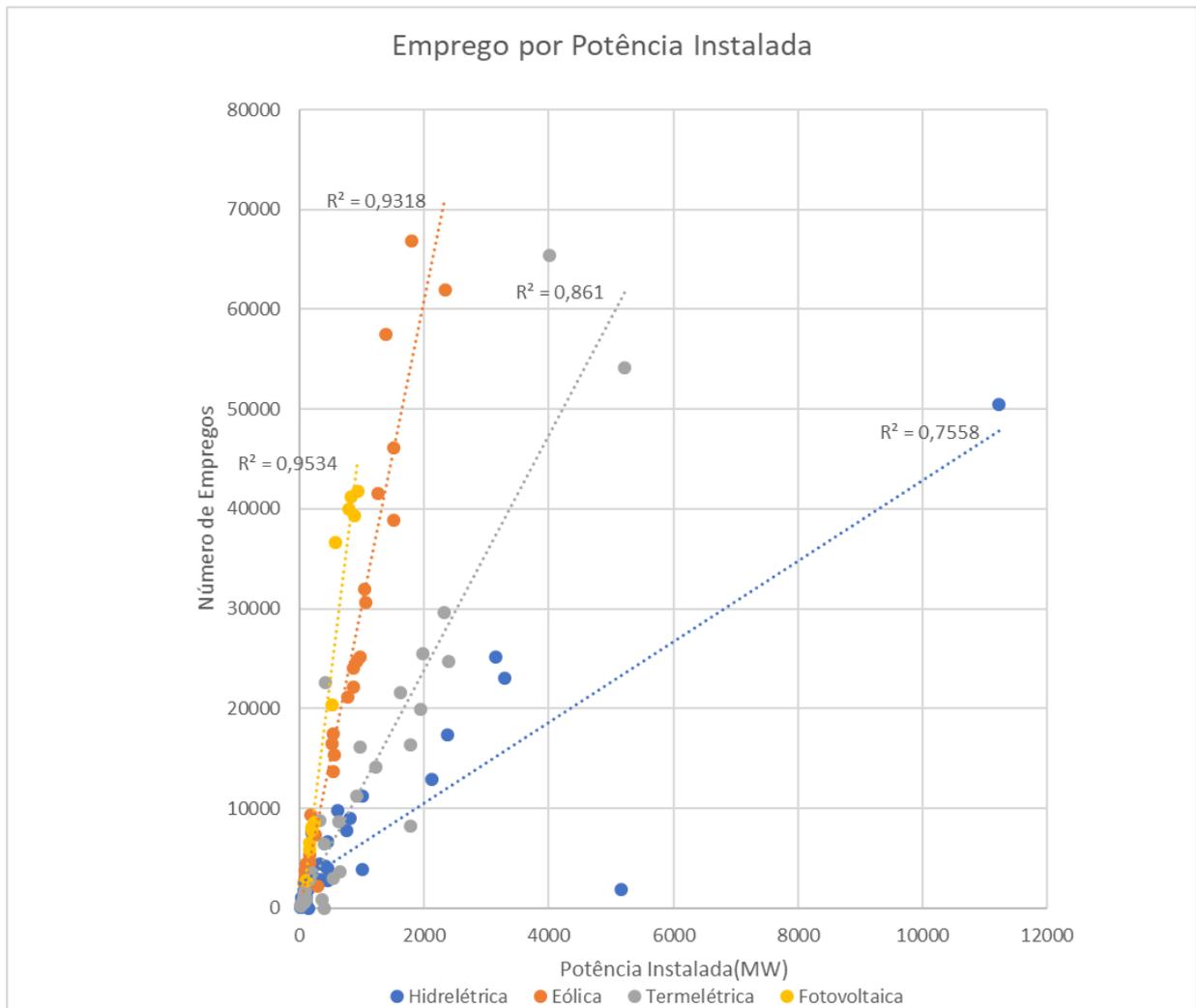
O coeficiente de correlação de Pearson ( $R$ ) derivado desses dados revela constatações interessantes sobre a capacidade dessas fontes de energia na geração de empregos diretos. Dessa forma, há uma correlação notável entre a geração de empregos e a instalação de usinas fotovoltaicas e eólicas. Essa forte correlação sugere que, à medida que investimos e ampliamos a capacidade dessas usinas, podemos esperar um aumento significativo em novos empregos diretos.

Por outro lado, usinas termelétricas e hidrelétricas, mesmo apresentando uma correlação positiva com a geração de empregos, fazem-no em uma magnitude menor que usinas solares e eólicas quando relacionado com a capacidade instalada. Isso pode ser atribuído a vários fatores, como as eficiências operacionais e os processos mais automatizados nessas usinas. Além disso, as usinas solares e eólicas requerem maior mão de obra para manutenção, o que também contribui para essas diferenças.

A adequação das curvas traçadas com base no coeficiente de adequação ( $R^2$ ) sustenta a viabilidade de empregar a técnica de regressão linear para relacionar a capacidade instalada e a geração de empregos. Nota-se, pela inclinação da reta, quando examinamos as fontes

eólica e solar, é evidenciado uma característica notável: é necessário menos potência instalada para gerar mais empregos em comparação com outras fontes energéticas. Dessa forma, ao realizar-se investimentos visando o aumento da capacidade instalada dessas usinas, pode-se antecipar um retorno mais elevado em termos de empregabilidade por MW instalado do que as demais fontes produtoras de eletricidade.

Figura 4.3 – Relação de Potência instalada por empregos gerados dos empreendimentos negociados em leilões de expansão de geração



Fonte: Elaboração própria

Na Tabela 4.2, apresenta-se a distribuição de empregos gerados por região do Brasil em função dos empreendimentos negociados nos leilões. Esses dados proporcionam uma visão mais aprofundada sobre as regiões que mais se beneficiam em termos de geração de emprego a partir da instalação de novas unidades geradoras das fontes negociadas.

Tabela 4.2 – Empregos Diretos por região do Brasil dos empreendimentos negociados nos leilões

Regiões Do Brasil	Fonte Eólica	Fonte Solar	Fonte Termelétricas	Fonte Hídrica
Nordeste	546.380	195.269	138.768	9.964
Norte	0	6.001	23.733	123.294
Centro-oeste	0	503	59.720	43.149
Sudeste	0	57.217	129.362	17.393
Sul	56.211	0	36.040	40.954
<b>TOTAL</b>	<b>602.591</b>	<b>258.990</b>	<b>387.623</b>	<b>234.754</b>

Fonte: Elaboração própria

A fonte eólica é destacada como a principal geradora de empregos no Nordeste, com 546.380 empregos diretos, seguida pela fonte solar com 195.269. A região Norte, por outro lado, vê a predominância da fonte hidráulica, que gera 123.294 empregos, enquanto as fontes eólica e solar têm uma presença quase nula devido às dificuldades na implementação de outras fontes nesse local.

No Centro-oeste, a fonte termelétrica lidera com 59.720 empregos, seguida de perto pela fonte hidráulica com 43.149 empregos. A região Sudeste apresenta uma predominância da geração termoelétrica, com 129.362 empregos, enquanto a fonte solar também contribui significativamente com 57.217 empregos. Na região Sul, a fonte eólica é uma contribuinte significativa na geração de empregos, com 56.211 empregos.

Dessa forma, dentro do contexto nacional, o total de empregos gerados pelas fontes eólica, solar, termelétricas e hidráulica no contexto dos leilões de expansão de geração, é respectivamente, 602.591, 258.990, 387.623 e 234.754. Isso indica uma quantidade significativa para a geração de empregos dentro do setor eólico, seguido pelo setor termoelétrico no país, já que foram os tipos de usinas que mais geraram empregos no período avaliado.

### 4.3 Preço das Fontes

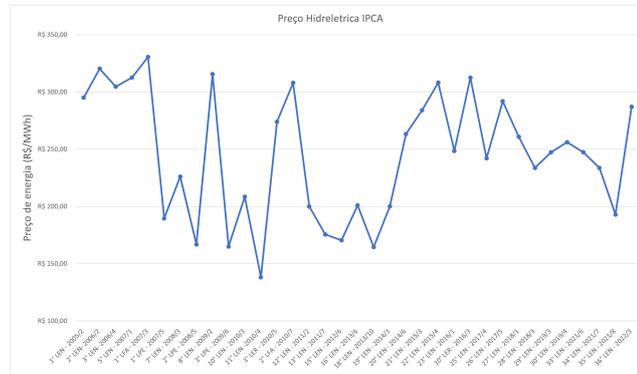
A evolução dos preços da energia, conforme a fonte geradora, é um indicativo significativo para compreender as dinâmicas do mercado de energia no contexto do ACR e as preferências em qual fonte a distribuidora teria interesse em adquirir. Esta análise torna-se importante dentro do contexto da transição energética que o Brasil está vivenciando. A Figura 4.4 traça um panorama desses preços nos leilões de expansão de geração que foram realizados. Para fins de clareza na representação gráfica, foi considerado o valor de R\$ 0 sempre que uma fonte não participou de determinado leilão.

Essa análise proporciona compreensões acerca da competitividade e atratividade de cada fonte geradora. Ao observar a Figura 4.4, se destaca uma perspectiva sobre as tendências

de mercado e as decisões de investimento na expansão da capacidade de geração de energia elétrica por meio desses leilões.

Figura 4.4 – Preços de Energia por Fonte em Leilões de Expansão de Geração

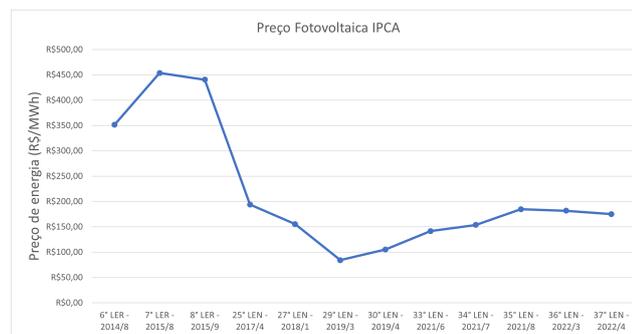
(a) Preço médio de usinas hídricas



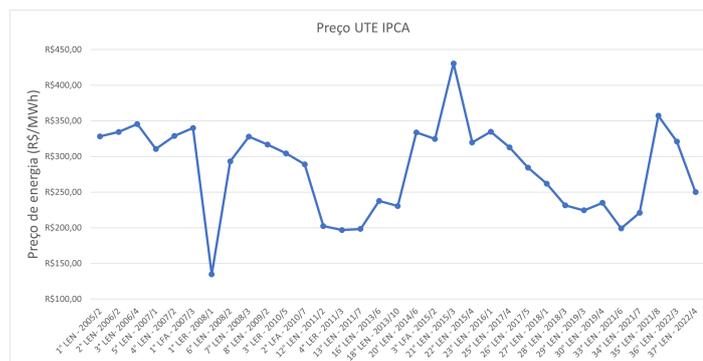
(b) Preços de Usinas Eólicas



(c) Preços de Usinas Solares



(d) Preços de Usinas Termelétricas



Fonte: Elaboração própria

Ao analisar os dados apresentados, destaca-se que a energia da fonte termelétrica, principalmente quando comparada com outras fontes, apresentou os maiores valores registrados nas suas negociações e também as maiores flutuações desses preços. Por outro lado, a fonte que apresentou de forma contínua os menores patamares de preço foi a energia eólica. Este fato pode indicar os esforços empreendidos na integração desta fonte na matriz elétrica nacional bem como sua forte competitividade ao ofertar o MWh por menores preços de forma mais regular que as outras fontes.

Além disso, é relevante destacar que, mesmo a energia fotovoltaica tendo começado com preços elevados, após o 8º LER (LER/2015), observamos uma tendência de diminuição dos valores. Esta tendência sinaliza uma crescente competitividade dessa fonte no contexto dos preços, comparando-se com outras fontes energéticas. Nos leilões mais recentes, os preços apresentaram uma estabilidade, reforçando esta percepção.

Outro ponto de destaque é que, nas negociações mais atuais, as fontes solares e eólicas atingiram preços semelhantes e, mais notavelmente, os mais baixos já registrados. Isso não apenas evidencia o papel e interesse crescente por estas fontes renováveis, mas também aponta para sua maturidade de mercado, adquirida ao longo do tempo nos leilões.

Em contraste, ao ser analisado os preços da energia de geração hídrica é possível perceber que essa foi a que se manteve a mais estável em comparação com as demais. Dessa forma, é possível concluir que essa fonte foi a mais resiliente às flutuações dentro dos leilões, refletindo sua consolidação como uma opção confiável, competitiva e previsível dentro da matriz elétrica brasileira.

Concluindo a análise, a Tabela 4.3 resume os preços de energia das fontes que participaram dos leilões de expansão de geração. É fundamental mencionar que todos os valores foram ajustados com base no IPCA, de janeiro de 2023, conforme já apontado na metodologia.

Tabela 4.3 – Resumo dos Preços de Energia Corrigidos pelo IPCA, de janeiro de 2023, por Fonte em leilões de expansão de geração

	<b>Fonte Hidrelétrica</b>	<b>Fonte Eólica</b>	<b>Fonte Fotovoltaica</b>	<b>Fonte Termelétrica</b>
Maior Valor Registrado (R\$/MWh)	R\$ 330,61	R\$ 321,78	R\$ 453,64	R\$ 430,67
Menor Valor Registrado (R\$/MWh)	R\$ 164,50	R\$ 89,01	R\$ 84,23	R\$ 134,76
Média de Valor Registrado (R\$/MWh)	R\$ 246,13	R\$ 197,25	R\$ 218,46	R\$ 283,74

Fonte: Elaboração própria

Além disso a tabela 4.4 a seguir mostra a comparação entre os diferentes tipos de empreendimentos hídricos que são negociados. Nesse sentido a tabela é apresenta a seguir:

Tabela 4.4 – Resumo dos Preços de Energia Corrigidos pelo IPCA, de janeiro de 2023, para tipos de empreendimentos hídricos

Tipo de Empreendimento	Maior Valor	Menor Valor	Média de Valor
UHE	R\$ 320,84	R\$ 138,17	R\$ 215,82
PCH	R\$ 330,61	R\$ 126,28	R\$ 270,08
CGH	R\$ 300,33	R\$ 238,40	R\$ 273,31

Fonte: Elaboração própria

Nesse sentido, ao observar tal tabela fica claro que usinas do tipo UHE tiveram notavelmente os menores valores. Isso pode ser atribuído por essa modalidade de usina contar com maior capacidade instalada em comparação com às demais, levando o preço sair mais barato. Além disso, usinas do tipo PCH e CGH tiveram os maiores preços de energia para adquirir no leilão realizado.

## 4.4 Custo de Investimento por MW

Ao analisar os custos de investimento por MW, para cada fonte geradora, principalmente no contexto dos novos leilões de expansão de geração, percebemos que o tema não é inédito. Santos (2015) já havia abordado essa temática em sua pesquisa. Entretanto, a abrangência e profundidade de nosso estudo distanciam-se notavelmente do anterior. Oferecendo uma panorâmica geral do cenário da época, a presente pesquisa aprofunda-se nos detalhes e nuances incluindo os mais recentes leilões, refletindo de maneira atualizada a situação do setor energético brasileiro (SANTOS, 2015).

Adicionalmente, um diferencial relevante é a correção monetária aplicada nos valores. Em contraste com o estudo de Santos (2015), que não detalhou o índice empregado para correção monetária, nesta pesquisa, o IPCA, de janeiro de 2023, foi escolhido como referência para os ajustes, conforme apontado na metodologia. Esse rigor metodológico permite uma compreensão mais alinhada com a realidade dentro do período avaliado.

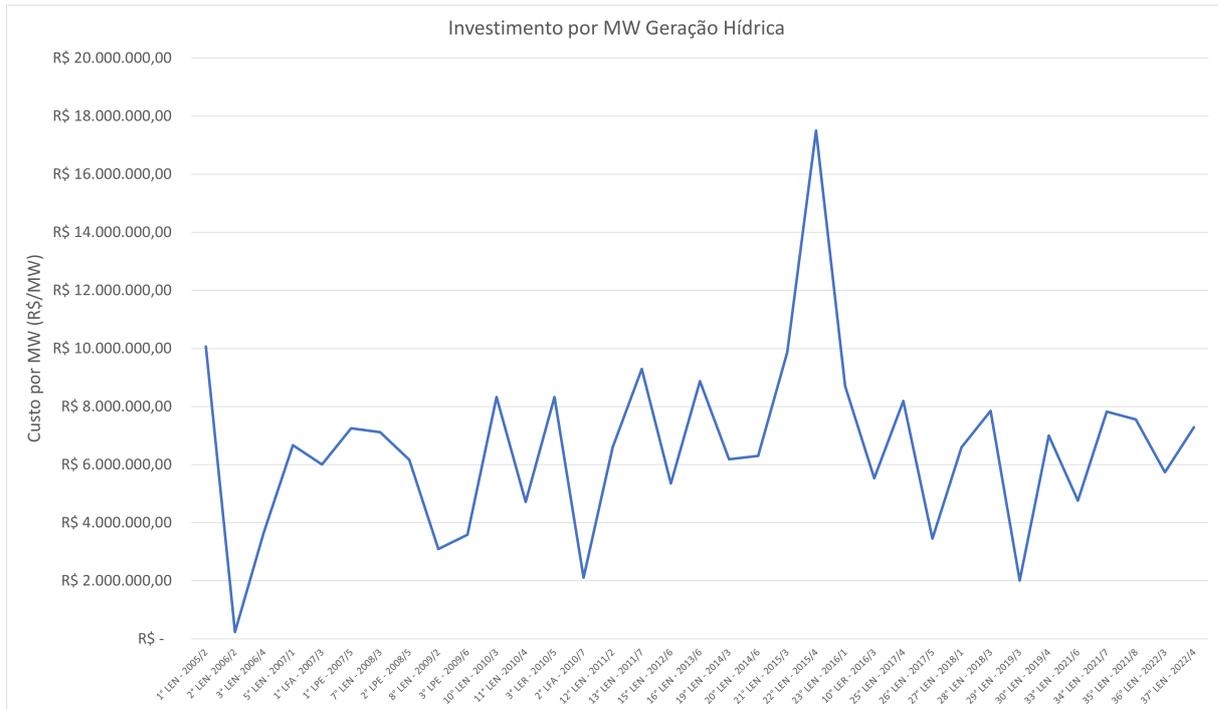
Dessa forma, nessa seção do capítulo, adotaremos uma abordagem similar à de Santos (2015), estabelecendo uma relação entre o investimento destinado à implantação de usinas e a potência em termos de capacidade instalada de diversas fontes geradoras. Essa métrica é crucial para avaliar o apelo de investimentos no setor sob uma ótica de custos, especialmente considerando a expansão da capacidade instalada nacional de fontes não poluentes em alinhamento com a viabilização da transição energética.

Prosseguindo com a análise, serão apresentadas, nas figuras subsequentes, as variações do custo por MW para as diferentes fontes geradoras. Essas representações gráficas proporcionam uma visualização mais clara e comparativa dos investimentos necessários por capacidade instalada para cada tipo de geração.

#### 4.4.1 Fonte de Geração Hídrica

A Figura 4.5 ilustra os custos de investimento por MW para a fonte hidrelétrica, sem fazer a distinção do tipo de usina:

Figura 4.5 – Custo médio de Investimento por MW da fonte Hidrelétrica



Fonte: Elaboração própria

Ao examinar a Figura 4.5 que ilustra os valores de investimento por MW para diversos leilões, para a fonte hídrica, foi identificada uma grande variação de custos ao longo do período observado. O 21º LEN realizado em 2015 (LEN A-5/2015) destaca-se pelo maior investimento por MW, com um montante expressivo de R\$ 17.502.728,96 por MW instalado de potência, o que pode estar associado à seca que ocorreu no período. Em contraste, o 2º LEN de 2006 (LEN A-3/2006) registrou o menor investimento necessário por MW, totalizando apenas R\$ 231.928,36 por MW instalado de potência.

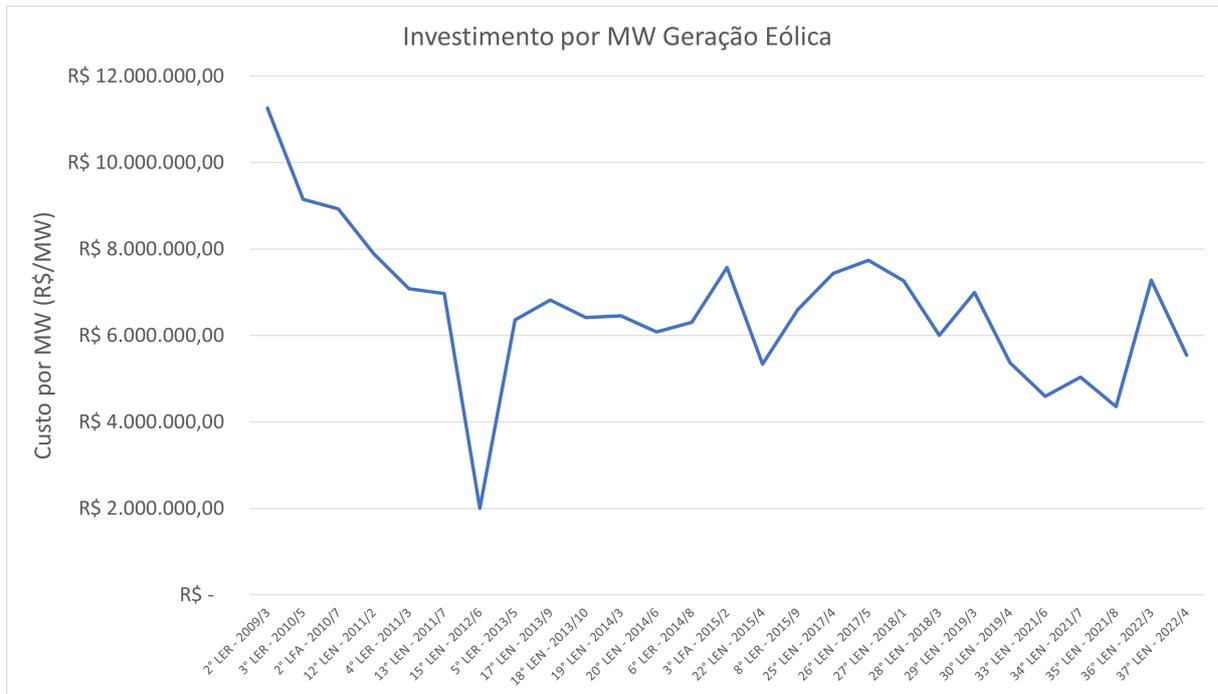
Estas oscilações de valores sugerem que o setor experimentou diversas variações nos custos de investimento por MW ao longo dos anos. Tal flutuação pode ser atribuída a diversos fatores, desde mudanças na política energética, avanços tecnológicos, até a dinâmica de oferta e demanda no setor juntamente com a oferta de água disponível nos reservatórios.

Considerando a totalidade dos leilões listados, a média de investimento por MW para a instalação dessas usinas estabelece-se em R\$ 6.564.679,17. Embora seja essencial destacar a amplitude das variações ao longo dos leilões observadas na figura em questão.

#### 4.4.2 Fonte de Geração Eólica

A Figura 4.6, apresentada a seguir, exibe a variação do investimento por MW nas usinas eólicas:

Figura 4.6 – Custo de Investimento por MW da fonte Eólica



Fonte: Elaboração própria

Ao consultar a Figura 4.6, que demonstra os valores de investimento por MW para os leilões do setor eólico, observamos uma variação notável ao longo dos anos analisados. O 2º LER (LER/2009), que foi o primeiro leilão que contou com a presença da fonte eólica foi o que teve o valor mais alto de investimento por MW, chegando a R\$ 11.260.083,32 por MW. Em contraposição, o 15º LEN de 2012 (LEN A-5/2012) revela o menor custo de investimento por MW dessa fonte, com um total de R\$ 2.000.397,01 por MW.

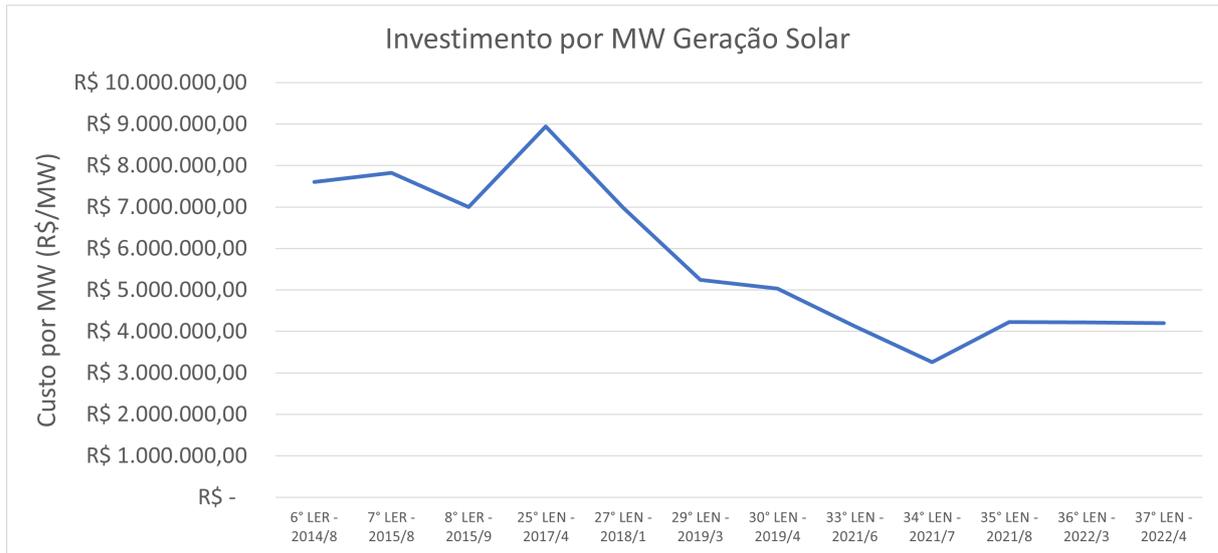
A amplitude desses valores destaca uma tendência na redução dos custos de investimento por MW no setor eólico ao longo do período analisado. Isso pode ser um fator atrativo para investimento no incremento de produção desse tipo de energia.

A média de investimento por MW para os leilões do setor eólico listados está estabelecida em R\$ 6.625.254,47. Embora esse valor médio ofereça um panorama geral dos investimentos, é fundamental observar a diversidade dos valores anuais, como bem ilustrado na figura referida. É importante destacar que, devido ao decréscimo nos custos por MW previamente mencionado, a média do custo por MW para a fonte eólica foi de R\$ 6.020.195,76..

#### 4.4.3 Fonte de Geração Fotovoltaica

A Figura 4.7, apresentada a seguir, exibe a variação do investimento por MW nas usinas solares negociadas nos leilões:

Figura 4.7 – Custo de Investimento por MW da fonte Fotovoltaica



Fonte: Elaboração própria

Ao analisar a Figura 4.7, fica claro que a energia solar encontrava-se em um patamar muito alto de custos relacionado a capacidade instalada dessas usinas, sendo o mais alto dessa fonte registrado no LEN A-4/2017, que ficou em torno de R\$ 8.942.755,23 por MW de capacidade instalada. Isso pode estar associado ao alto preço para adquirir os equipamentos necessários para a viabilização das usinas fotovoltaicas no período.

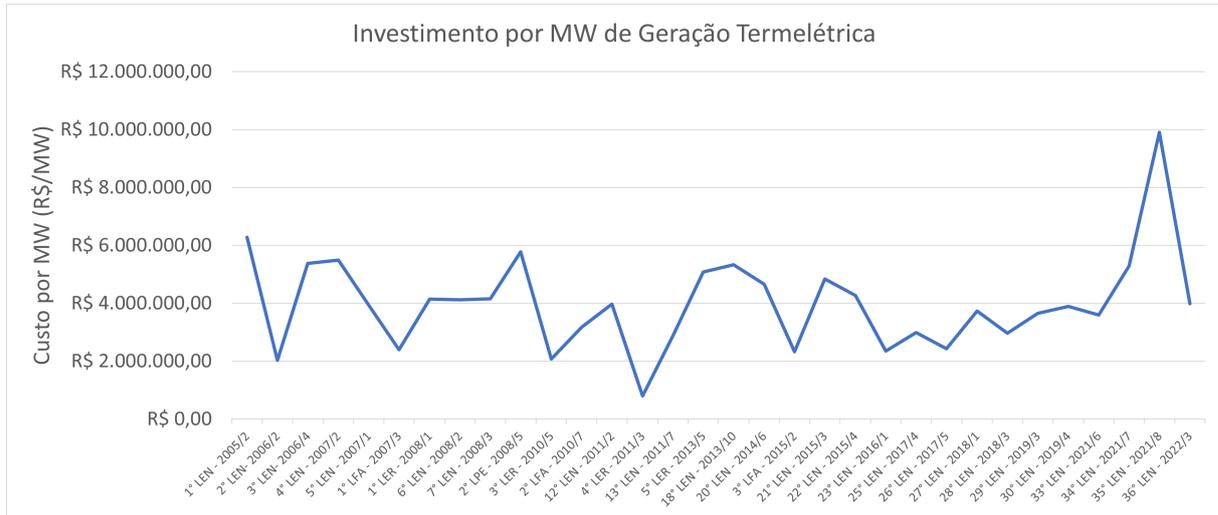
Todavia, a partir do LEN A-4/2017, ocorreu uma forte redução de custos associada à diminuição do preço desses equipamentos e à propagação dessa fonte energética dentro do território brasileiro. Ao se calcular a média dos valores por MW nos leilões subsequentes, percebemos que ela é de aproximadamente R\$ 5.748.289,35. Esta média demonstra o declínio consistente no investimento necessário para a capacidade instalada e realça a crescente atratividade econômica da energia solar no Brasil.

Além disso, uma análise mais aprofundada dos dados recentes revela um padrão interessante: nos últimos cinco leilões, os valores se estabilizaram em torno de R\$ 4.000.000 por MW. Esse padrão sugere não apenas uma estabilização nos custos expressos pelo investimento por MW, mas também indica uma maturação tecnológica dentro do setor de energia solar. A uniformidade destes valores, mesmo diante das variáveis do mercado, reforça a ideia de que o segmento solar está solidificando sua presença no contexto dos leilões de energia, mostrando-se cada vez mais confiável e previsível para os investidores.

#### 4.4.4 Fonte de Geração Termelétrica

A Figura 4.8, apresentada a seguir, exibe a variação do investimento por MW nas usinas termelétricas negociadas nos leilões:

Figura 4.8 – Custo de Investimento por MW da fonte Termelétrica



Fonte: Elaboração própria

Podemos notar com base na Figura 4.8 que o setor termoelétrico teve oscilações entre os valores de MW pelo investimento necessário. Essas oscilações ficaram entre o valor de R\$ 6.000.000,00 e R\$ 2.000.000,00 dessa forma variando consideravelmente, principalmente por esse custo depender principalmente do combustível que for utilizado nessa usina. O preço médio de todo período para essa fonte foi de R\$ 3.997.474,46, o menor registrado em comparação com as demais fontes.

Observa-se na Figura 4.8 um pico notável no valor por MW no 35° LEN de 2021 (LEN A-5/2021), alcançando o valor de R\$ 9.908.359,09 — o maior custo utilizando essa métrica que foi registrada em todos os leilões para essa fonte. Este aumento significativo pode ser atribuído à urgência na contratação de energia elétrica durante esse período para o atendimento ao consumo. Tal fato tem origem na crise hídrica enfrentada em 2021 que comprometeu a capacidade das usinas hidrelétricas de produzir a energia requerida, levando à necessidade de soluções energéticas alternativas a geração por meio de empreendimentos hidrelétricos e emergenciais, e consequentemente, a elevados custos no leilão para essa fonte geradora.

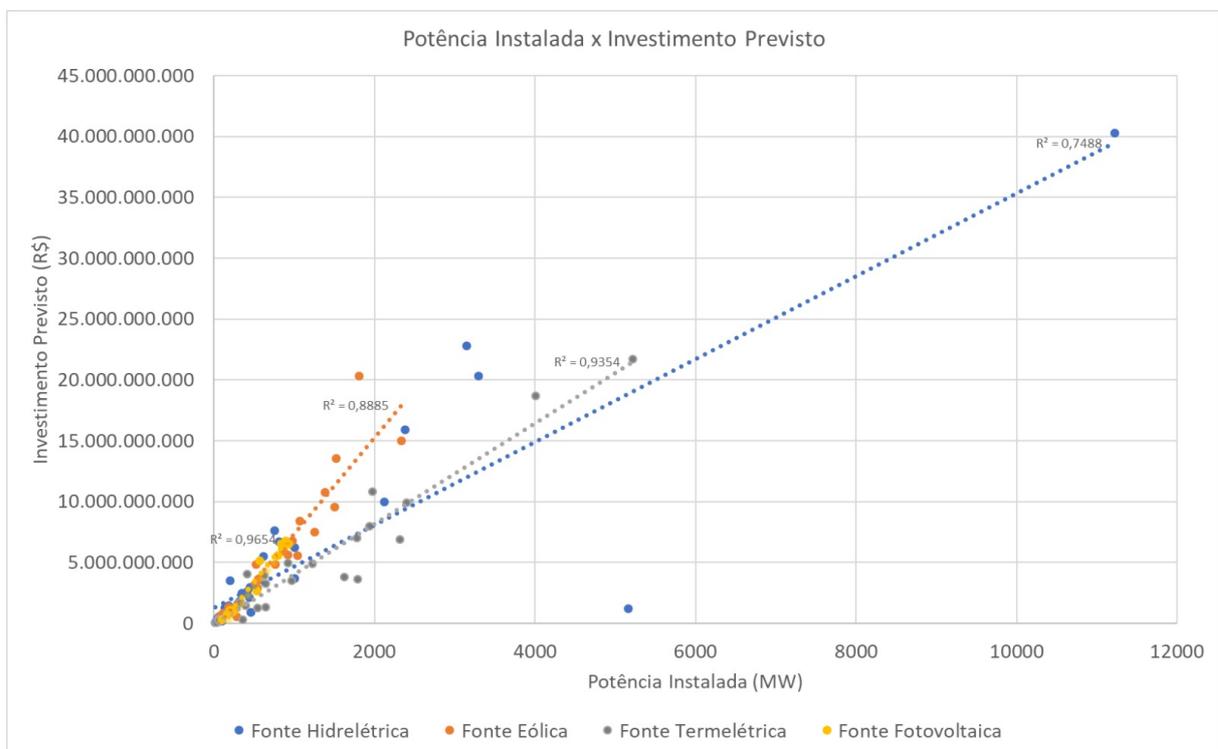
#### 4.4.5 Comparação entre o Custo e a Potência Instalada

A Figura 4.9 ilustra um gráfico de dispersão que correlaciona o investimento previsto com a potência instalada estimada nos leilões. A visualização detalhada desta representação gráfica é apresentada abaixo.

Para a energia fotovoltaica e eólica, o alto valor de  $R^2$  sugere uma previsibilidade e confiabilidade elevadas nos dados, facilitando assim previsões precisas e planejamento estratégico eficaz para investimentos para implementação desse tipo de usina. O mesmo é observado para a energia termelétrica, cujo coeficiente de determinação reafirma a consistência e a confiabilidade do modelo de regressão linear utilizado.

Em contraste, embora a geração hidrelétrica apresente um  $R^2$  ligeiramente inferior comparado ao das outras fontes. Isso implica que, apesar de haver uma variabilidade maior nos dados, a regressão linear ainda oferece um nível aceitável de precisão e pode ser empregada para realizar estimativas e inferências confiáveis sobre os padrões de investimento para a geração hidrelétrica.

Figura 4.9 – Dispersão relacionando o investimento previsto e a potência instalada prevista nos leilões



Fonte: Elaboração própria

Ao examinar os dados relativos ao investimento projetado em diferentes fontes de energia, é evidente que as fontes fotovoltaica e eólica requerem um investimento considera-

velmente mais alto em comparação com as demais opções. Esta observação é reforçada pela análise detalhada das retas obtidas por meio da regressão linear.

A inclinação destas retas é particularmente reveladora. Para um valor de potência dos empreendimentos negociados, especialmente, as fontes fotovoltaica e eólica apresentam uma inclinação mais acentuada, sinalizando a necessidade de um investimento mais significativo. Este fenômeno pode ser atribuído a diversos fatores intrínsecos a estas tecnologias, como os custos de instalação, manutenção e os desafios logísticos associados à implementação e operação eficientes desses sistemas de geração.

Adicionalmente, a Figura 4.9 destaca uma tendência notável. Observa-se que para níveis mais baixos de potência instalada presente no leilão, a geração termelétrica requer um investimento inicial relativamente menor em comparação com outras fontes de energia. Este padrão sugere uma eficiência de custo inicial favorável para projetos termelétricos que tenham uma menor escala de operação.

Em contrapartida, a fonte de geração hídrica exibe uma característica distinta: a necessidade de investimento é menor em comparação com as demais fontes à medida que a capacidade de potência instalada aumenta dessas usinas. Esse fenômeno indica uma economia de escala mais significativa associada aos projetos hidrelétricos. Nesse sentido, ampliações na capacidade de potência instalada dessa fonte não resultam proporcionalmente em aumentos significativos nos custos de investimento previstos.

Assim, serão utilizadas as equações da reta da regressão linear simples fornecidas pelo software Microsoft Excel<sup>®</sup>. Sendo assim seguem as funções:

$$\begin{cases} \text{Hidrelétrica: } & y_H = 3 \times 10^6 x_H + 10^9 \\ \text{Termelétrica: } & y_T = 4 \times 10^6 x_T - 10^8 \end{cases} \quad (4.1)$$

Para determinar o ponto de potência desses empreendimentos de geração hídrica em que a instalação dessas usinas presentes nos leilões se torna mais econômica, exigindo um menor investimento previsto para uma maior potência de seus empreendimentos, pode-se igualar as duas equações, conforme demonstrado a seguir:

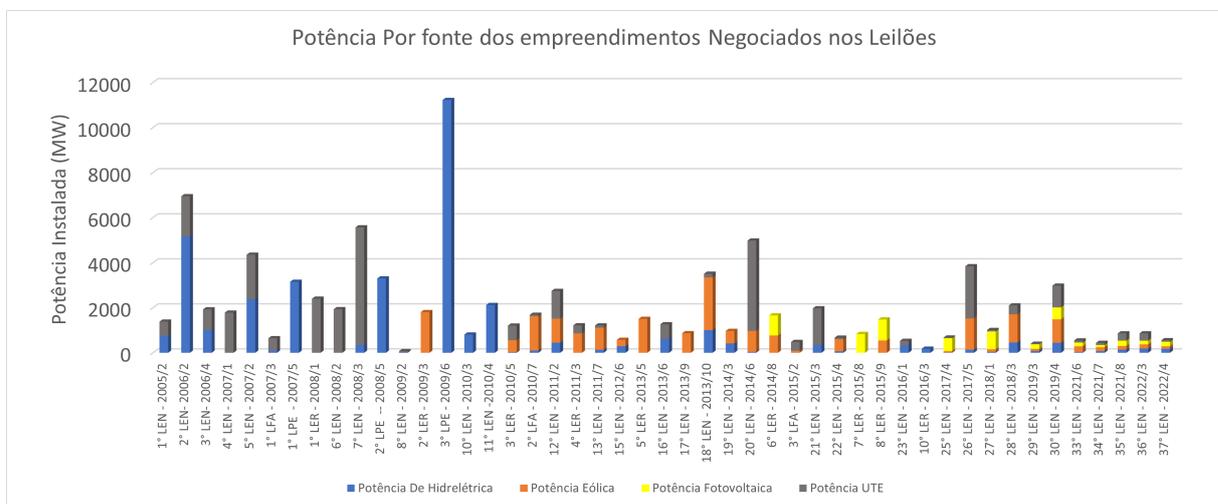
$$3 \times 10^6 x + 10^9 = 4 \times 10^6 x - 10^8 \quad (4.2)$$

A partir da resolução da equação, o valor obtido da variável  $x$  em questão é de 1100 MW. Dessa forma, conclui-se que nos leilões com uma capacidade instalada superior a 1100 MW para a fonte hidrelétrica, esta se mostrou mais vantajosa. Por outro lado, em leilões com capacidade instalada inferior a esse valor, os empreendimentos termelétricos revelaram-se mais benéficos sob essa ótica de investimento necessário.

## 4.5 Potência das Usinas dos Leilões

A diversificação das fontes energéticas é uma das chaves para garantir a segurança energética e sustentabilidade do setor elétrico. No contexto dos leilões de expansão, é crucial entender como essa diversificação se manifesta em termos de potência das usinas contratadas. A seguir, a Figura 4.10 ilustra a distribuição da potência das usinas negociadas em leilões, categorizada por tipo de fonte energética. Esta visualização fornece uma perspectiva clara sobre quais fontes têm tido a maior predominância pensando em termos de capacidade instalada.

Figura 4.10 – Distribuição da Potência das Usinas Negociadas nos Leilões por Fonte



Fonte: Elaboração própria

Conforme já mencionado, a Figura 4.10 apresenta a potência dos empreendimentos negociados nos leilões de expansão de geração no Brasil e demonstra uma evolução marcante nas tendências de geração de energia ao longo dos anos. No período inicial, entre 2005 e 2010, observa-se uma clara preferência pela inclusão de hidrelétricas na capacidade instalada dos empreendimentos de leilões de expansão de geração, com essas usinas predominando nas contratações. Isso é evidenciado pela comparação entre a soma das potências de todos os outros tipos de empreendimentos em qualquer leilão realizado e a potência contratada no 3º LPE, em 2009, (LPE/2009) que negociou a potência da usina hidrelétrica de Belo Monte.

A partir de 2009, ocorreu uma mudança que consistiu no aumento na capacidade instalada de origem eólica e, posteriormente, da fonte fotovoltaica. Nesse sentido, essa evolução nas negociações sinaliza um esforço dos leilões de tentar compor as suas negociações com usinas de diferentes origens, dessa forma, mostrando um esforço na diversificação da capacidade instalada, alinhando-se com a necessidade global de transição para fontes mais sustentáveis. Contudo, o declínio nas contratações de empreendimentos com grande

capacidade instalada de origem hidrelétrica nos leilões mais recentes aponta os crescentes desafios - sejam eles ambientais, sociais, econômicos ou de abastecimento - que envolvem projetos hidrelétricos desse porte.

Por outro lado, as Usinas Termelétricas não só tiveram uma presença marcante na potência dos empreendimentos nos primeiros leilões, como também voltaram a se destacar a partir de 2017 com valores significativos de potência instalada. Essa recorrência ao longo dos anos, mesmo com a crescente demanda global por fontes de energia mais limpas, sugere que o setor elétrico brasileiro pode estar hesitante em abraçar integralmente a transição energética. Ao optar por soluções pontuais baseadas em termelétricas para garantir a segurança energética, devido às suas características de despachabilidade, o setor pode estar perdendo a oportunidade de investir mais robustamente em fontes renováveis e em sua integração eficaz, como por exemplo, com a utilização de banco de baterias.

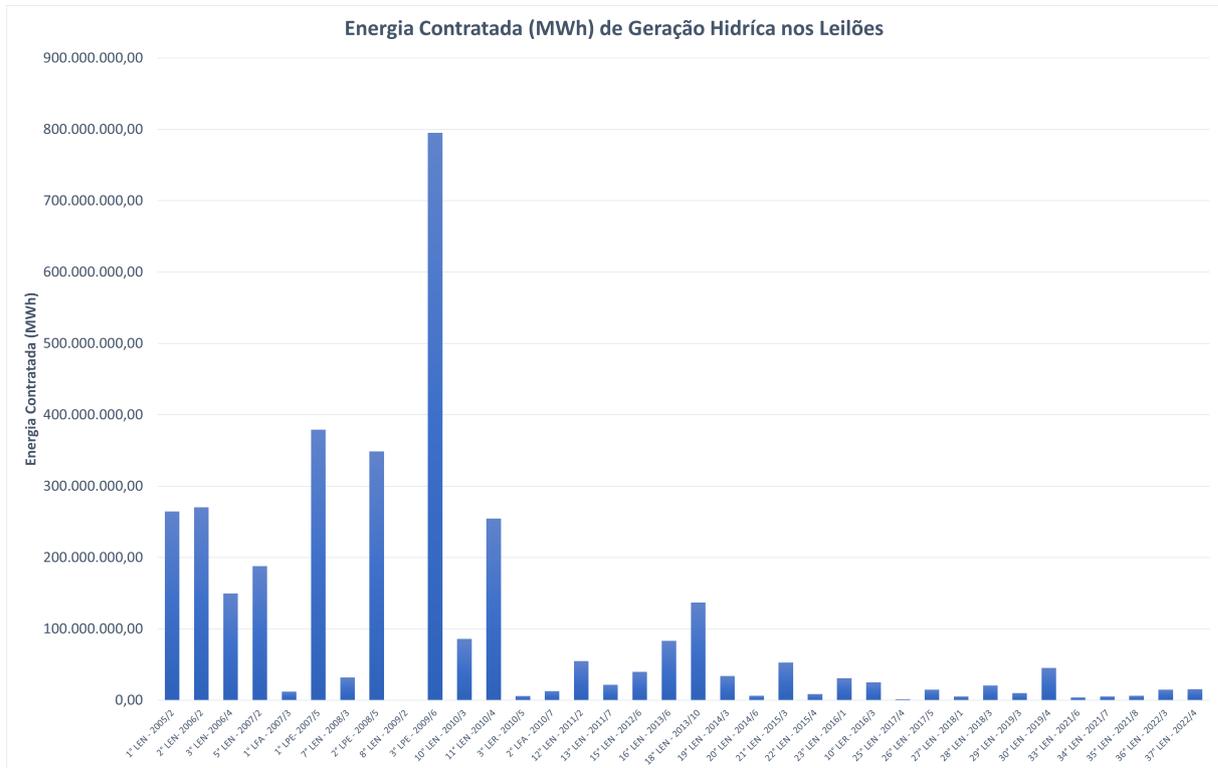
## 4.6 Contratação de Energia Nos Leilões

Este tema será abordado de uma maneira similar à que Santos (2015) utilizou ao examinar a contratação de energia. Entretanto, a presente análise se diferencia ao priorizar a fonte de geração, ao invés da modalidade em que se encontra. Adicionalmente, haverá uma avaliação detalhada dos combustíveis empregados nas usinas termelétricas, que foram negociadas nos leilões. Outro aspecto relevante é a inclusão de novos leilões, que não foram contemplados no estudo de Santos (2015).

### 4.6.1 Fonte de Geração Hídrica

A Figura 4.11 ilustra a quantidade de energia contratada em MWh oriunda de geração hídrica nos leilões analisados. Essa representação gráfica oferece um panorama detalhado da participação dessa fonte energética ao longo dos eventos de contratação.

Figura 4.11 – Energia Contratada em MWh de Geração Hídrica nos Leilões



Fonte: Elaboração própria

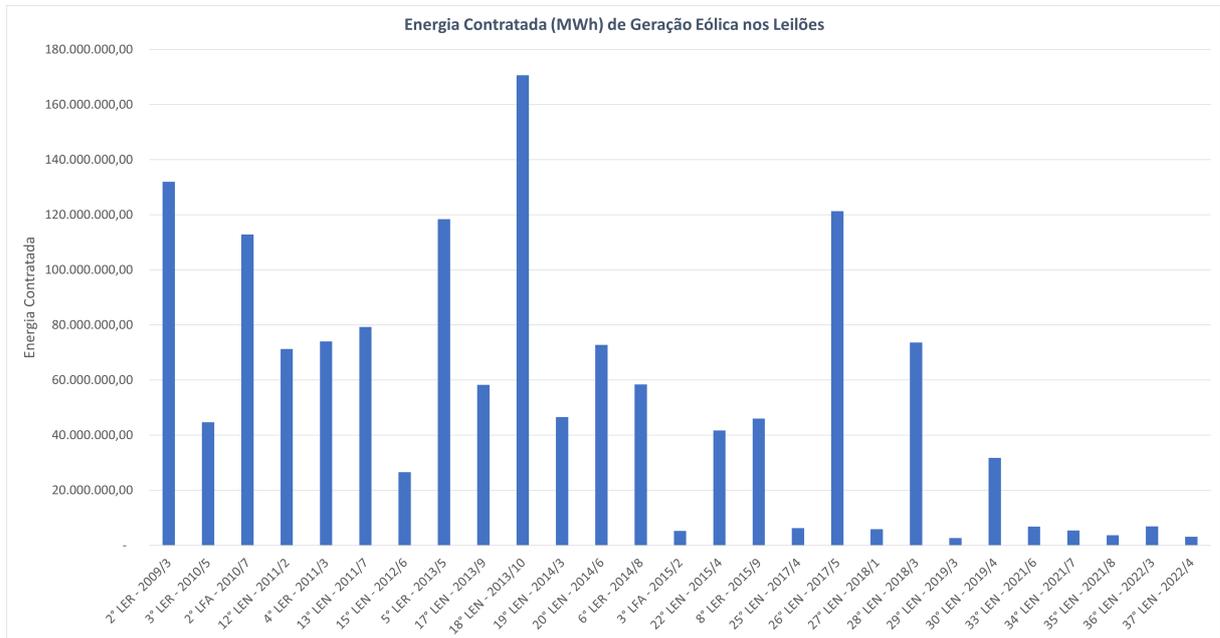
Ao analisarmos o histórico de contratação, observa-se no início um expressivo volume de energia proveniente da fonte hídrica, alcançando, em média, 200.000 GWh por leilão. Notavelmente, o LPE/2009 registrou o maior volume já contratado em um único leilão, aproximadamente 800.000 GWh. Esse pico de energia contratada deve-se à inclusão da UHE Belo Monte nesse leilão, um empreendimento reconhecido pelo seu vasto potencial de potência e, conseqüentemente, por sua elevada capacidade de geração energética.

Após esse leilão, é evidente uma tendência de queda nos volumes de energia contratada de origem hídrica, em comparação aos primeiros leilões. Essa mudança sugere um cenário de intensificação da competição entre as diferentes fontes de energia.

#### 4.6.2 Fonte de Geração Eólica

A evolução e a contribuição das fontes de energia renovável têm sido cada vez mais discutidas no cenário energético global. A geração eólica, em particular, tem se mostrado uma alternativa promissora na diversificação da matriz energética brasileira. Nesse contexto, a Figura 4.12 apresenta os volumes de energia contratada provenientes de geração eólica nos leilões, fornecendo uma perspectiva clara do seu crescimento e relevância ao longo dos anos.

Figura 4.12 – Energia Contratada em MWh de Geração Eólica nos Leilões



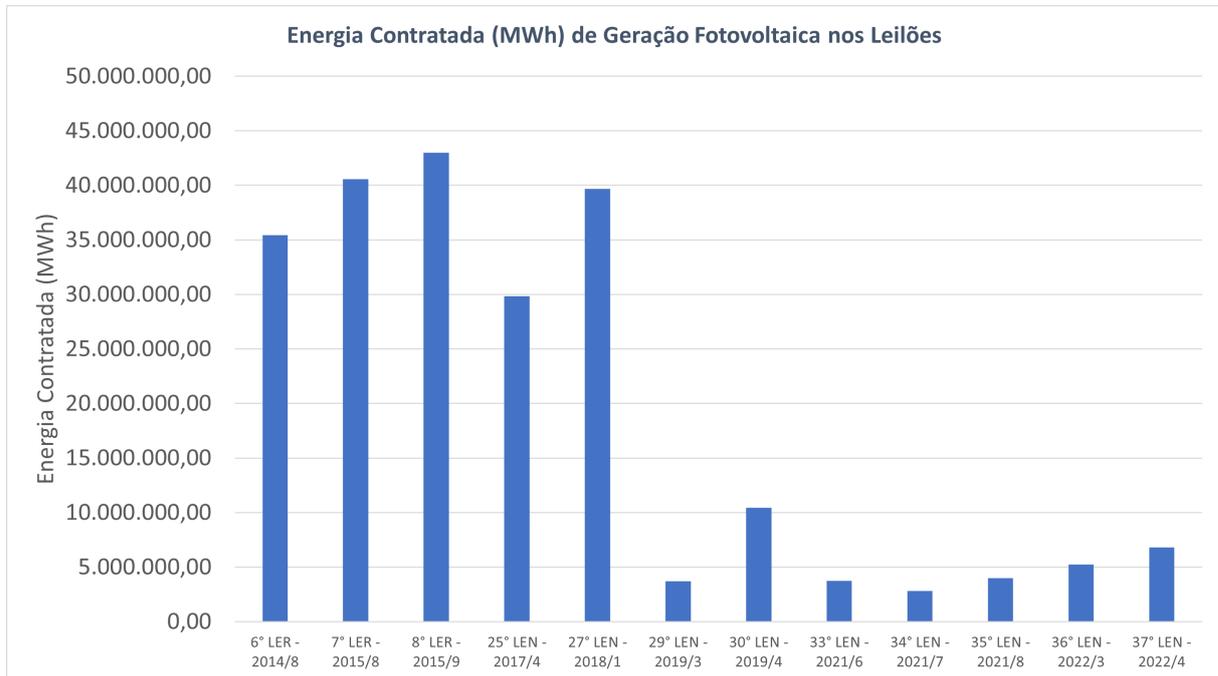
Fonte: Elaboração própria

Dessa forma, a evolução da contratação de energia por meio dessa fonte revela que no início muitos leilões mantiveram uma quantidade semelhante de energia contratada por meio de empreendimentos eólicos. Além disso, um fator interessante que foi observado nas demais fontes foi mostrada uma diminuição sensível na quantidade de energia contratada. Isso pode indicar uma desaceleração na quantidade de energia contratada dentro do ambiente dos leilões.

#### 4.6.3 Fonte de Geração Fotovoltaica

A geração fotovoltaica tem se destacado no Brasil no período recente, apresentando-se como uma fonte de energia limpa e renovável. A Figura 4.13 apresenta a evolução da energia contratada desta fonte nos leilões, evidenciando sua crescente relevância no setor energético nacional.

Figura 4.13 – Energia Contratada em MWh de Geração Fotovoltaica nos Leilões



Fonte: Elaboração própria

A análise dos leilões revela que os empreendimentos fotovoltaicos atingiram picos expressivos de energia contratada nas primeiras ocasiões em que esta fonte marcou presença nessas negociações. Contudo, ao observar os dados mais recentes, é perceptível uma diminuição significativa na quantidade de energia contratada oriunda dessa fonte.

#### 4.6.4 Fonte de Geração Termelétrica

Ao considerar a transição energética, é crucial não apenas analisar o tipo de usina contratada, mas também, no contexto de empreendimentos termelétricos, identificar a fonte do combustível para essas usinas. Nesta seção, destacaremos as diferentes origens da energia contratada em tais empreendimentos.

A seguir, a Figura 4.14 apresenta uma análise detalhada da energia contratada em MWh, segmentando a geração termelétrica de acordo com o tipo de combustível utilizado nos leilões, como já supracitado. Essa visualização oferece uma perspectiva clara das tendências e variações na contratação de energia termelétrica, juntamente com o combustível utilizado, ao longo do tempo.

Figura 4.14 – Energia Contratada em MWh de Geração Termelétrica por combustível nos Leilões



Fonte: Elaboração própria

É notável que, no início, as usinas termelétricas mantinham um padrão de contratação estável. Contudo, a partir do 5º LEN em 2007, essa estabilidade deu lugar a uma variabilidade marcante nas contratações. O 20º LEN em 2014 se destacou, alcançando um pico de aproximadamente 500.000 GWh contratados. No entanto, tanto o leilão anterior quanto o subsequente a este evento apresentaram patamares de contratação significativamente mais baixos, mostrando uma certa sazonalidade nas contratações de energia dessa fonte.

É evidente que o gás natural predominou como o principal combustível nos empreendimentos termelétricos contratados nesses leilões de expansão de geração. Apesar de possuir um fator de emissão mais baixo quando comparado ao óleo combustível e também ao carvão mineral, o gás natural ainda apresenta um impacto ambiental considerável, especialmente quando contrastado com as fontes renováveis que tiveram também uma presença considerável nessas negociações (EPE, 2022b). Adicionalmente, observa-se também uma significativa contratação de energia, cujos empreendimentos utilizam como combustível biomassa, óleo combustível e carvão.

Uma observação relevante é que, nos recentes leilões em que ocorreu a inclusão de empreendimentos termelétricos, tem-se registrado uma tendência de que esses empreendi-

mentos sejam exclusivamente de origem de biomassa. Esse cenário denota uma estratégia clara de valorização da biomassa como um combustível termelétrico viável, reconhecendo suas vantagens em termos de sustentabilidade e atendendo à crescente necessidade e metas por energias mais limpas dentro do setor energético nacional. Contudo, foi notado um movimento de desaceleração na quantidade de energia contratada. Tal fato é perceptível para todas as fontes, sinalizando uma reavaliação ou ajuste na dinâmica de oferta e demanda dessas contratações nos leilões, levando em consideração a falta de necessidade de realizar grandes volumes de contratação.

Na Tabela 4.5, é apresentado um resumo da energia contratada em leilões de expansão de geração de empreendimentos termelétricos, segmentada pelo tipo de combustível utilizado. Essa tabela oferece uma visão clara de quais fontes de combustível têm sido mais adotadas em usinas termelétricas e qual a quantidade de energia que foi contratada, tal tabela está exposta a seguir:

Tabela 4.5 – Energia Contratada de empreendimentos termelétricos em Leilões por Tipo de Combustível

<b>Combustível utilizado</b>	<b>Energia Contratada (GWh)</b>
Óleo Diesel	71.395,224
Óleo Combustível	627.179,904
Gás de Processo	26.299,200
Gás Natural	1.729.434,206
Carvão	294.906,180
Biomassa	464.829,00

Fonte: Elaboração própria

## 4.7 Estimativa nas Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente da Energia Contratada

No âmbito das discussões acerca da sustentabilidade e dos impactos ambientais decorrentes das diversas fontes de energia, a quantificação das emissões de CO<sub>2</sub> equivalente assume um papel central. Nesse contexto, é crucial considerar os fatores de emissão específicos de cada fonte de energia elétrica, uma vez que estes são determinantes para a compreensão dos impactos ambientais associados.

A Tabela 4.6, apresentada anteriormente na seção de metodologia, é reintroduzida aqui para facilitar a discussão sobre essas especificidades. Ela ilustra de forma clara os diferentes níveis de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente associados à produção de energia elétrica para cada fonte, oferecendo um panorama essencial para a análise comparativa do impacto ambiental dessas fontes.

Tabela 4.6 – Fatores de Emissão por Fonte Elétrica

<b>Fonte Elétrica</b>	<b>Fator de Emissão (gCO<sub>2</sub>eq/kWh)</b>
Biomassa	200
Carvão	1099
Eólica Onshore	7
Gás Natural	532
Hidrelétrica	70
Óleo Combustível	774
Óleo Diesel	762
Solar Centralizada	60

Fonte: Adaptado de (BRUCKNER et al., 2014) e (EPE, 2022b)

Nessa perspectiva, a análise da Tabela 4.6 revela que as termelétricas movidas a combustíveis fósseis possuem os maiores fatores de emissão. Portanto, essas fontes se destacam como as principais contribuintes para o efeito estufa, enfatizando a necessidade de reconsiderar sua utilização no contexto das mudanças climáticas. Além disso, é notável que a geração hídrica apresente um fator de emissão médio muito próximo ao de outras fontes renováveis. Contudo, vale ressaltar que este fator pode variar conforme as características específicas de cada projeto hidrelétrico. De modo geral, a geração hídrica configura-se como uma alternativa renovável eficaz na perspectiva das emissões de CO<sub>2</sub> equivalente.

Conforme apontado na seção de metodologia deste estudo, diversos cenários foram considerados para avaliar o impacto da contratação de diferentes fontes de energia em leilões de expansão de geração na sustentabilidade e na emissão de gases de efeito estufa para a possível produção dessa energia. A Tabela 4.7 apresenta um resumo desses cenários. É importante destacar que, nos cenários que incluem termelétricas, estas são assumidas como usinas que utilizam gás natural como combustível.

Quanto às fontes renováveis, a distribuição percentual de energia contratada é dividida igualmente entre as fontes hidrelétrica, solar e eólica. Esta divisão uniforme permite uma análise equilibrada do impacto ambiental de cada tipo de fonte renovável, alinhando-se com os objetivos do estudo de comparar e contrastar diferentes estratégias de contratação de energia em termos de suas implicações ambientais.

Adicionalmente, para fornecer um parâmetro comparativo, estimativas das emissões efetivas geradas na produção de energia contratada nos leilões foram calculadas com base nos fatores de emissão da Tabela 4.6. Essas estimativas das emissões acumuladas provenientes da energia efetivamente contratada são apresentadas na Figura 4.15, representadas pela curva denominada "Emissões Reais". Essa abordagem permite quantificar, de maneira precisa, o impacto ambiental real comparado a diferentes estratégias de contratação de energia elétrica que poderiam ser apresentadas nos leilões.

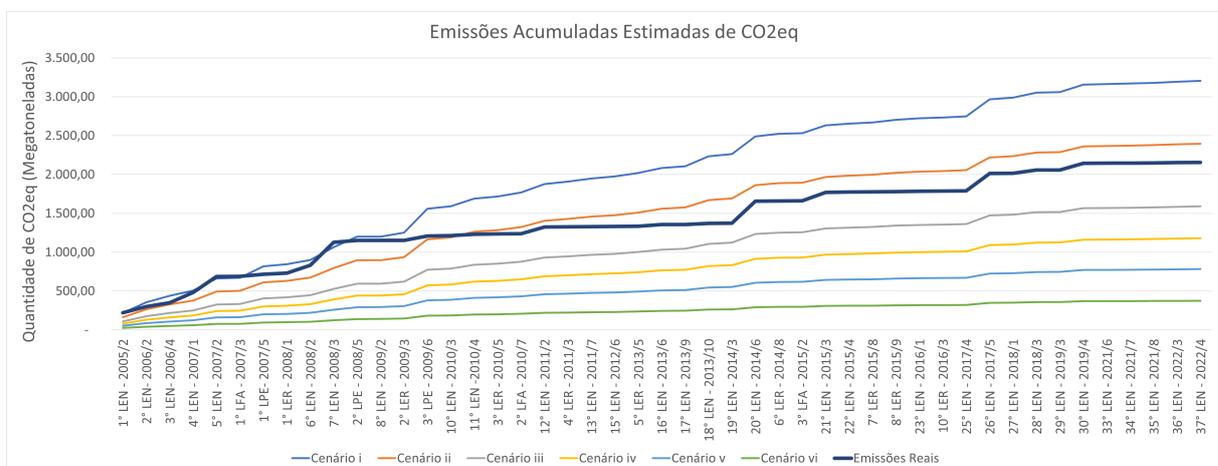
Tabela 4.7 – Resumo dos Cenários de Contratação de Energia

Cenário	Termelétricas (%)	Renováveis (%)
<b>Cenário i</b>	70	30
<b>Cenário ii</b>	50	50
<b>Cenário iii</b>	30	70
<b>Cenário iv</b>	20	80
<b>Cenário v</b>	10	90
<b>Cenário vi</b>	0	100

Fonte: Elaboração Própria

A Figura 4.15 apresenta uma estimativa da quantidade, em toneladas, de CO<sub>2</sub> equivalente que seria emitido caso a energia contratada em leilões fosse efetivamente produzida. Este gráfico oferece uma visão clara do potencial impacto ambiental das decisões tomadas em que energia contratar e produzir dos empreendimentos que participaram dos leilões de energia, essa imagem é apresentada a seguir:

Figura 4.15 – Estimativa Acumulada de Emissões de CO<sub>2</sub> equivalente com base na Energia Contratada em Leilões e nos cenários propostos



Fonte: Elaboração Própria

A Figura 4.15 evidencia as implicações da escolha dos tipos de fontes de energia contratadas em leilões sobre as emissões acumuladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Dessa forma, o papel de fontes renováveis, com menor fator de emissão, é fundamental para a redução e controle dessas emissões. Isso é particularmente notável no cenário i, onde a maioria da energia contratada provém de termelétricas que utilizam o gás natural, resultando em emissões mais altas de gases que aumentam o efeito estufa em comparação aos outros cenários e também das emissões reais.

Desse modo, pode-se notar que a estimativa das emissões provenientes da energia elétrica que foi efetivamente contratada nos leilões esteve abaixo tanto do cenário i, que contava com uma predominância de gás natural, quanto para o cenário ii que propunha um equilíbrio entre a contratação de energia elétrica renovável e de eletricidade com geração dessas termelétricas. Outro fato notável ao analisar a Figura 4.15 é que, com o aumento das participações das fontes renováveis na geração de energia, como observado no cenário iii, fica evidente o impacto significativo na redução das emissões de gases de efeito estufa associadas à geração de eletricidade.

Embora as emissões estimadas tenham apresentado um desempenho melhor que o dos cenários pessimistas, com uma menor quantidade de gases acumulados até o último leilão realizado, ainda é notório que houve um distanciamento dos cenários otimistas, que projetam uma participação maior e crescente de fontes renováveis. Assim, a discrepância entre a curva das emissões acumuladas reais e as projeções dos cenários mais otimistas, como os cenários v e vi, evidencia a significativa distância entre a situação atual e o de uma transição energética total. Nesses cenários, a participação de termelétricas na matriz elétrica é menos expressiva ou até inexistente, em comparação com os demais cenários ou até mesmo com o cenário atual, sendo complementada essa geração de eletricidade por meio de uma maior participação de fontes renováveis.

Nesse sentido, a Tabela 4.8 resume as diferenças percentuais entre as projeções de emissão de CO<sub>2</sub> equivalente dos cenários apresentados e as emissões originadas da energia elétrica que foi efetivamente contratada em leilões de expansão de geração, caso fossem produzidas. Esta comparação percentual destaca novamente o potencial de redução de emissões que pode ser alcançado mediante a adoção de fontes de energia mais limpas e renováveis na composição da contratação de energia em leilões. A apresentação dessa tabela vem a seguir:

Tabela 4.8 – Comparação das emissões dos cenários com as emissões reais.

<b>Cenários</b>	<b>Porcentagem das emissões acumuladas de cada cenário comparada às Emissões Reais</b>
Cenário i	149%
Cenário ii	111%
Cenário iii	74%
Cenário iv	55%
Cenário v	36%
Cenário vi	17%

Fonte: Elaboração Própria

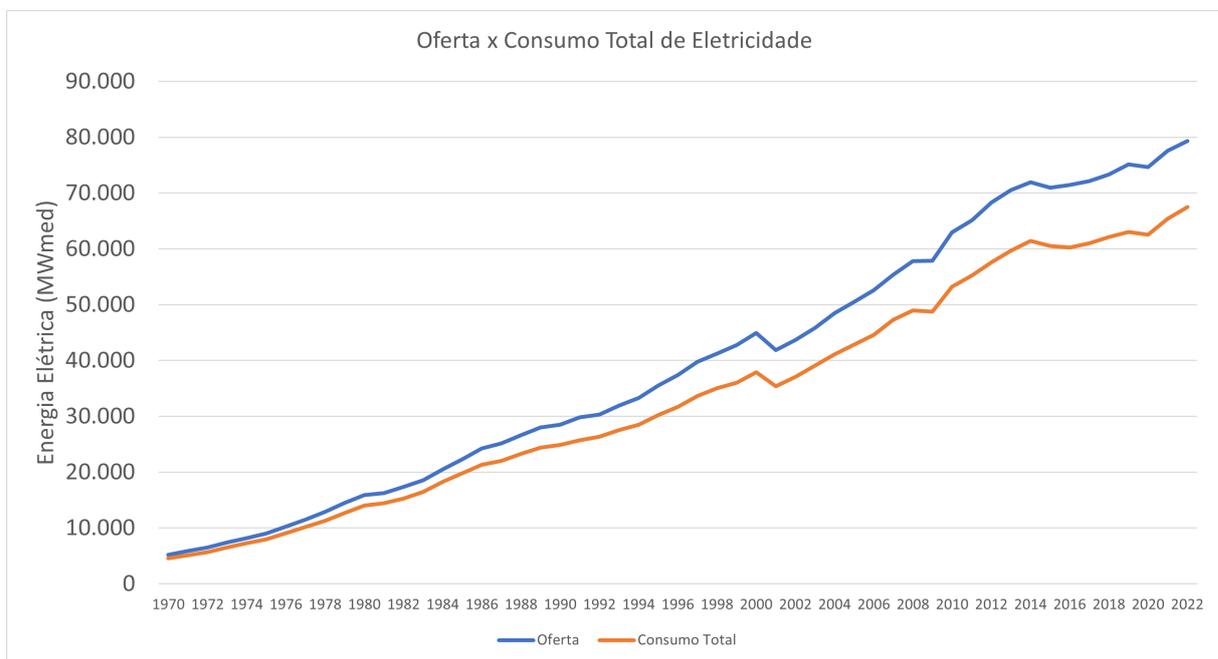
Dessa forma, a priorização na contratação de geração de energia por meio de fontes renováveis, evidente em cenários que favorecem a presença de energia renovável, resulta em emissões acumuladas notavelmente mais baixas. Esse fenômeno reforça a urgência da

transição para fontes de energia mais limpas como meio de mitigar os impactos ambientais adversos que altas emissões podem acarretar. Neste contexto, é imperativo que ocorra uma avaliação da trajetória energética atual, apesar do Brasil já ser reconhecido por possuir uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, é essencial intensificar o foco nas energias renováveis, visando uma completa transição para uma matriz sustentável que se aproxime de emissões zeradas.

## 4.8 Oferta e Consumo Total de Energia Elétrica no País

O acompanhamento da dinâmica de oferta e consumo total de eletricidade é essencial para os leilões de expansão de geração, uma vez que o propósito desses leilões é garantir uma expansão planejada que satisfaça as necessidades elétricas do país. A Figura 4.16 ilustra a oferta e o consumo total, calculados de acordo com as equações (3.1) e (3.2), respectivamente, apresentadas na seção de metodologia do trabalho. Essas equações permitem uma análise abrangente e precisa do período entre 1970 e 2022. O gráfico detalha esses dados e é apresentado a seguir.

Figura 4.16 – Oferta x Consumo Total da energia elétrica no país

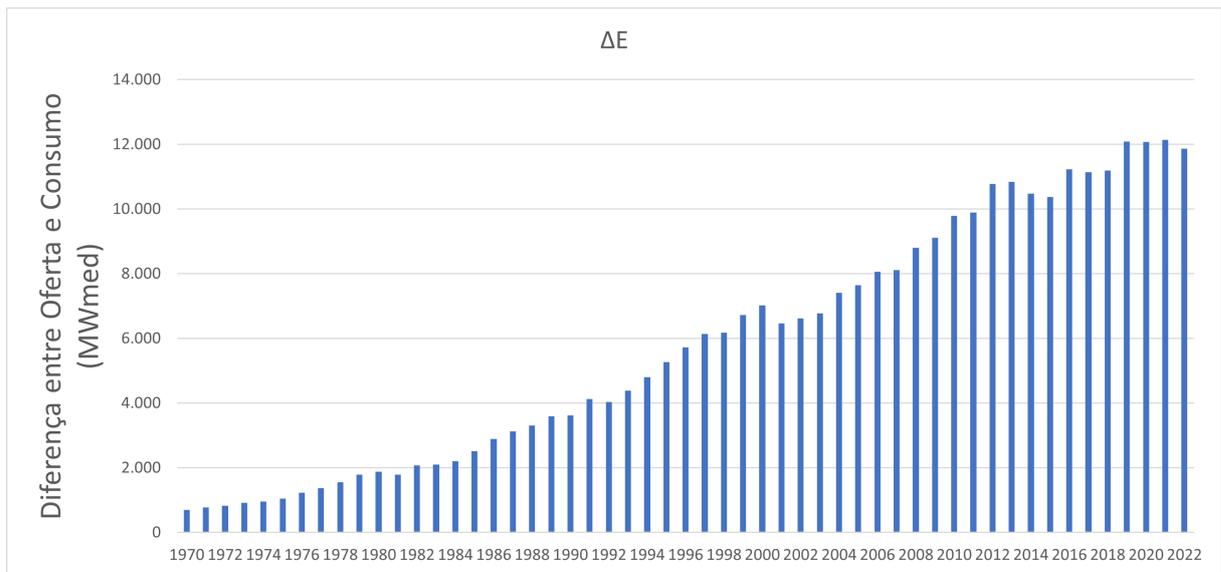


Fonte: Elaboração Própria

Conforme evidenciado pela Figura 4.16, é notável que o planejamento dentro do setor conseguiu acompanhar o consumo dentro do país. Isso é notório ao analisar que ambas as curvas têm um comportamento similar, evidenciando o planejamento energético dentro do setor, dos quais os leilões de expansão de geração são uma parte fundamental.

Esse padrão é evidente mesmo nas reduções de consumo, que podem ser atribuídas a diversos fatores, como a pandemia do COVID-19 ou crises econômicas vivenciadas no período avaliado. A fim de ilustrar a discrepância entre a oferta e a demanda de energia elétrica, a Figura 4.17 apresenta essa variação usando o índice  $\Delta E$ , conforme descrito na metodologia deste estudo.

Figura 4.17 – Variação de  $\Delta E$  ao longo do tempo



Fonte: Elaboração Própria

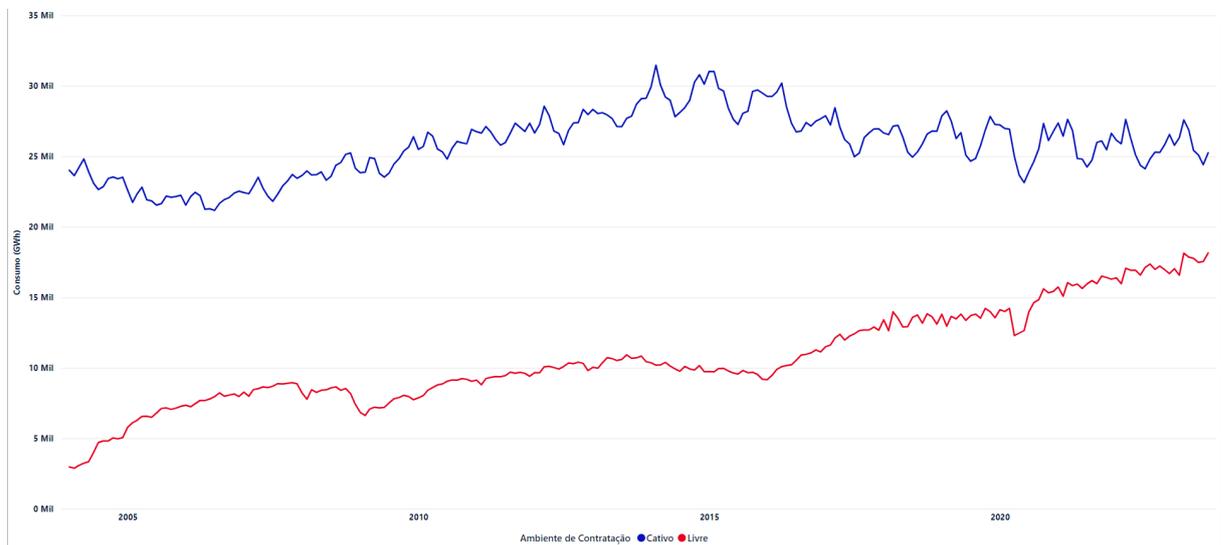
A partir da análise detalhada da Figura 4.17, pode-se notar que a diferença entre a oferta e o consumo de energia vem sofrendo aumentos constantes, durante o período evidenciado na figura. Esse excesso na oferta de energia elétrica pode explicar a diminuição significativa nas contratações de energia nos últimos leilões de expansão de geração que foram realizados. Esse excesso de energia pode representar um obstáculo para a realização de futuros leilões de expansão de geração elétrica. Tal cenário reforça a importância de avaliações contínuas e planejamentos estratégicos dentro do SEB, para que possa ser atendido de forma eficiente a necessidade de energia elétrica do país.

Esse excesso de oferta tem como um dos principais motivos a construção de empreendimentos renováveis para atender maiores consumidores, já que o mercado regulado se encontra com maiores preços de energia, onerando esses consumidores com maior custo o consumo de energia elétrica (PAMPLONA, 2023). Além disso, um excesso de oferta de energia elétrica no país pode produzir o efeito de desestimular investimentos robustos para novos empreendimentos de geração de energia renovável dentro do setor elétrico, já que o tempo de retorno de projetos pode ser maior que o esperado, devido à presença de um menor preço para se adquirir energia.

Ademais, conforme destacado por Marcos Madureira, presidente da Abradee (Associação Brasileira das Distribuidoras de Energia Elétrica), esse cenário incentiva a migração para o mercado livre, devido à possibilidade de adquirir energia a menores preços (PAMPLONA, 2023). Isso ao mesmo tempo resulta em um aumento da conta no ACR paga pelo consumidor, uma vez que os custos deixados por esse consumidor que migrou são redistribuídos e pagos pelos demais que permanecem com a energia sendo fornecida pela distribuidora (PAMPLONA, 2023).

A Figura 4.18 apresenta a comparação do consumo total entre o mercado cativo e o mercado livre. A figura é exibida a seguir:

Figura 4.18 – Consumo no Mercado Cativo x Mercado Livre



Fonte: (EPE, 2023d)

Na Figura 4.19, é apresentado um gráfico comparativo entre os dois segmentos de mercado, destacando a variação no consumo em ambos os mercados ao longo do tempo.

Figura 4.19 – Variação no Consumo Mercado Cativo e no Mercado Livre



Fonte: (EPE, 2023d)

Ao examinar ambas as figuras, observa-se uma diminuição no consumo do mercado cativo, contraposta ao crescimento no mercado livre. Enquanto as variações no mercado cativo se mantêm estáveis, apresentando até declínios em alguns momentos, o mercado livre mostra flutuações mais acentuadas em determinados períodos. Este comportamento sugere uma tendência crescente dos consumidores em terem vontade em conduzir suas próprias negociações, em busca de preços mais alinhados com seus interesses.

Além disso, mesmo com a contratação de fontes renováveis no mercado livre, as incertezas ligadas à rentabilidade e ao retorno sobre investimento podem limitar a expansão dessas fontes renováveis no curto prazo. Nesse contexto, a realização de leilões em países em desenvolvimento é essencial (COSTA, 2020). Eles garantem estabilidade ao estabelecer contratos de longa duração, contrastando com o Mercado *Spot*, que é suscetível a uma série de influências externas e internas, tais como flutuações no mercado livre, alterações de políticas domésticas, falta de recursos e conflitos internacionais (COSTA, 2020).

Esses leilões também reduzem as barreiras de entrada no mercado e criam condições mais propícias para o financiamento de projetos que estejam negociados em leilões de energia (adaptado de COSTA, 2020; WORLD BANK, 2011). Esse financiamento é especialmente imperativo para as fontes renováveis, já que elas apresentaram os maiores custos ao realizar a comparação com as demais fontes negociadas. Principalmente nesse cenário que tem uma menor necessidade para uma maior instalação de capacidade instalada, o que pode apresentar uma falta de interesse para novas instalações.

Diante do exposto, fica evidente um cenário desafiador para o setor elétrico, principalmente dentro do ACR e na realização de novos leilões de expansão de geração, já que esse

cenário desestimula a realização de novos leilões, devido às dificuldades vivenciadas pelo setor de distribuição em adquirir energia. Assim, é importante que órgãos de planejamento dentro do setor possam realizar ações para manter a contratação dos leilões que vêm ofertando fontes renováveis e também buscar medidas para diminuir os custos aos consumidores das distribuidoras para conseguir manter um equilíbrio entre o mercado cativo e o mercado livre no país.

## 5 Conclusões da Pesquisa

A análise apresentada no trabalho abordou os leilões de expansão de geração como fundamentais para a negociação energética de fontes renováveis no Brasil. A análise conduzida no trabalho avaliou as perspectivas econômica, técnica e ambiental dessas negociações, conforme apontado na metodologia desse estudo. Nesse sentido, ao longo do estudo e na avaliação de diversos critérios ficou claro que esses leilões integraram as fontes renováveis. Isso é mais notório para os empreendimentos eólicos e hidrelétricos, que tiveram a maior quantidade de negociações nos leilões de energia de expansão de geração. Ademais, a presença de usinas solares nessas negociações, apesar de menor, representa um avanço significativo para a produção de energia elétrica com geração solar no Brasil.

A seção de resultados do trabalho mostrou também a distribuição geográfica dos empreendimentos negociados nos leilões. Dentro desse escopo, tal análise mostrou um significativo número de hidrelétricas e termelétricas em várias regiões do Brasil. Os empreendimentos eólicos, por outro lado, concentram-se na região nordeste e no estado do Rio Grande do Sul, refletindo o potencial eólico dessas áreas. Em contraste, a energia solar, apesar de distribuir-se amplamente em diversos estados brasileiros, indica uma oportunidade para desenvolvimento em áreas internas e a distribuição de energia pelo país.

Adicionalmente, descreveu-se brevemente o desafio vivido pela região norte do país, devido à presença de termelétricas e à notável ausência de hidrelétricas nessa parte do país. Isso ocorre apesar de seu potencial hídrico, o que indica dificuldades em explorar esse potencial na região. Assim, pensando em uma transição energética eficaz, é necessário que os órgãos de planejamento setorial realizem estudos que visem uma maior integração das fontes renováveis na região com o objetivo de diminuir a utilização de termelétricas.

Outro ponto relevante foi a análise dos empregos diretos estimados nos leilões. Esse dado apresentado no trabalho é particularmente relevante pensando em uma transição energética justa, que visa não só buscar a descarbonização da matriz, mas também simultaneamente, promover desenvolvimento social e econômico regional. Dessa forma, ficou evidente que empreendimentos solares e eólicos mostraram a melhor relação entre potência e a capacidade de gerar empregos. Assim, na instalação de empreendimentos dessas fontes são esperados melhores índices de empregabilidade podendo trazer de forma mais eficiente o desenvolvimento socioeconômico na região que tal empreendimento foi instalado. Ademais, é importante destacar que à medida que a matriz elétrica diminui o uso de usinas termelétricas, devido a busca pela transição, é importante proteger os trabalhadores do setor termelétrico, por meio da realocação desses para o setor de energia renovável.

Também, foi apresentada a relação entre os custos associados à capacidade instalada

de cada fonte elétrica negociada nos leilões. Por mais que as fontes eólica e solar tenham apresentado uma tendência de queda de custos na relação com a potência instalada, a fonte que teve a maior vantagem nesse aspecto foi a fonte termelétrica. Contudo, no gráfico de dispersão, representado pela Figura 4.9, notou-se que a fonte hidrelétrica é mais vantajosa para valores elevados de potência instalada. Isso ocorre porque, mesmo com o aumento contínuo da capacidade instalada dessas usinas, os custos da geração hídrica crescem em menor proporção que os das demais.

Tal conclusão está alinhada com a observação do autor Santos (2015), que apontou os empreendimentos termelétricos como economicamente vantajosos utilizando esse critério, somente atrás de empreendimentos hidrelétricos. Contudo, em um contexto de transição energética, fatores como sustentabilidade e impactos ambientais são fundamentais na avaliação de custo-benefício. A realização de leilões é crucial também para além de integrar essas fontes, como também para facilitar o financiamento de projetos de energia renovável que apresentaram custos mais altos por potência, fortalecendo mais ainda a transição energética no país.

Além disso, um ponto interessante foi o preço que a energia foi comprada nos leilões, em tal aspecto as fontes eólica e fotovoltaica apresentaram preços bem mais baixos. Apesar de a energia solar ter iniciado com preços superiores, nos leilões recentes vêm mostrando uma redução significativa no seu custo de produção e também tal fato é um incentivo para expandir a capacidade instalada dessa fonte de energia. Nesse sentido, fica claro que com essa forte diferença valores estabelece um incentivo para adquirir energia de origem renovável, devido aos seus menores preços. No entanto, vale ressaltar que nos leilões recentes houve uma menor contratação de energia.

Logo, com relação as contratações de energia de empreendimentos termelétricos ficou claro, ao longo do estudo, o forte papel do gás natural como combustível, com uma participação significativa do carvão, óleo combustível e biomassa. Assim, mesmo o gás tendo um fator de emissão menor é importante que ocorra a busca por outras soluções dentro do setor que utilizem fontes renováveis, tal como a utilização de bancos de baterias para resolver questões de sazonalidade, ou a busca pela utilização do hidrogênio de baixo carbono para resolver o problema de despachabilidade de energia elétrica dentro do setor. Essa comparação da energia contratada de diferentes fontes e o seu impacto nas emissões de CO<sub>2</sub> equivalente, fica claro que os leilões optaram pela contratação de fontes alternativas, levando a emissões menos impactantes do que as dos cenários mais pessimistas. Todavia, ficou longe dos cenários que contavam com uma maior presença de renováveis, mostrando que mesmo em um país com umas das matrizes elétricas mais renováveis do mundo ainda cabem certas mudanças, principalmente na implementação de uma transição total.

A pesquisa também abordou o atual cenário energético, entre o consumo total de energia elétrica e sua produção. Dessa forma, tornaram-se evidentes os desafios do cenário

atual, marcado pelo excesso de energia produzida. Isso pode levar a menores remunerações aos agentes que atuam na geração de energia e também na menor necessidade de grandes volumes de contratação em leilões. Além disso, o estudo destacou os benefícios dos leilões, como a facilidade em obter financiamento para os projetos de geração e a garantia de uma maior estabilidade de preços. Por fim, destacou-se o crescimento do consumo dentro do ACL, apresentando mais um desafio para as distribuidoras de energia e seus consumidores. Dado que isso pode elevar os custos para estes últimos, dificultando, conseqüentemente, a realização de novos leilões devido a tais problemáticas.

Diante do exposto, torna-se evidente que este trabalho acadêmico ofereceu uma análise abrangente e multifacetada dos leilões de expansão de geração. Separando a análise em diversas perspectivas — econômica, técnica e ambiental — mostrou-se muito útil para investigar os aspectos abordados. O estudo demonstrou que houve um aumento progressivo na participação de fontes renováveis, em especial, as eólicas e solares, nos leilões. Contudo, para que essa transição ocorra de maneira integral e equitativa, é essencial o contínuo investimento em infraestrutura, incluindo a implementação de mais linhas de transmissão para resolver os problemas de escoamento de energia. Além disso, a realização de estudos, estratégias e políticas públicas deve considerar não apenas os aspectos de eficiência e critérios econômicos, mas também fatores relacionados à sustentabilidade e à inclusão social das populações no processo de transição energética no país.

## 5.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

O trabalho se encerra com sugestões para estudos futuros. Seguem as recomendações:

- Estudo dos fatores vistos nesse trabalho dentro do ACL.
- Estudo mais aprofundado das condições de oferta e consumo dentro do setor elétrico e suas repercussões.
- Trabalho sobre a integração do hidrogênio de baixo carbono dentro de leilões e também dentro do ACL.
- Modelagem e Previsão dos preços de energia dentro do mercado de energia e de leilões.
- Comparação entre diferentes formas de negociação de energia renovável dentro do país.

# Referências

- ABEEÓLICA. **Boletim anual de geração eólica 2021**. 2021. Disponível em: <[https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/07/ABEEOLICA\\_BOLETIMANUAL-2021\\_PORT.pdf](https://abeeolica.org.br/wp-content/uploads/2022/07/ABEEOLICA_BOLETIMANUAL-2021_PORT.pdf)>. Acesso em: 17 mar. 2023. Citado na p. 33.
- ABEEÓLICA. **O setor**. 2023. Disponível em: <<https://abeeolica.org.br/energia-eolica/o-setor/>>. Acesso em: 22 mai. 2023. Citado na p. 31.
- ALMEIDA, C. O. d. **O desafio institucional do setor elétrico brasileiro**. 2012. F. 81. Monografia (Bacharelado em Ciência Política) – Universidade de Brasília, Brasília. il. Citado na p. 37.
- ALUPAR. **Setor Elétrico Brasileiro**. 2023. Disponível em: <<https://ri.alupar.com.br/a-companhia/setor-eletrico-brasileiro/>>. Acesso em: 26 abr. 2023. Citado nas pp. 37, 38.
- ANEEL. **Mercado**. 2023a. Disponível em: <<https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/mercado>>. Acesso em: 4 mai. 2023. Citado na p. 39.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 1.059, de 7 de fevereiro de 2023**. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20231059.html>>. Acesso em: 1 de junho de 2023. 2023b. Citado na p. 33.
- ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012**. 2012. Disponível em: <<https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 1 jun. 2023. Citado na p. 33.
- ANEEL. **Resultado dos leilões de geração no ambiente regulado**. 2023c. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYmMzN2YONGMtYjEyNy000TNlLWI1YzctZjIOZTUwMDg5ODE3IiwidCI6IjQwZDZmOWI4LWVjYjYtYjYtNDZlMi05MmQ0LWVhNGU5YzAxNzBlMSIsImMiOiR9>>. Acesso em: 7 abr. 2023. Citado na p. 50.
- AZEVEDO, P. R. M. de. **Introdução à estatística**. 3. ed. Natal: EDUFRN, 2016. Citado nas pp. 44, 45.
- BEZERRA, F. D. Energia solar. **Caderno Setorial Etene**, Banco do Nordeste do Brasil, Fortaleza, ano 6, n. 174, jul. 2021. Citado na p. 34.
- BRASIL. **Decreto nº 5.163, de 30 de julho de 2004**. 2004. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5163.htm)>. Acesso em: 21 mar. 2023. Citado nas pp. 39, 41.
- BRASIL. **Lei nº 14.300, de 6 de janeiro de 2022**. 2022. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/l14300.htm)>. Acesso em: 20 mai. 2023. Citado na p. 34.

- BRASIL. **Lei nº 9.074, de 7 de julho de 1995**. 1995. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19074cons.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19074cons.htm)>. Acesso em: 28 jun. 2023. Citado na p. 37.
- BRASIL. **Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996**. 1996. Disponível em: <[https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19427compilada.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19427compilada.htm)>. Acesso em: 28 jun. 2023. Citado na p. 37.
- BRUCKNER, T.; BASHMAKOV, I.; MULUGETTA, Y.; CHUM, H.; VEGA NAVARRO, A. de la; EDMONDS, J.; FAAIJ, A.; FUNGTAMMASAN, B.; GARG, A.; HERTWICH, E.; HONNERY, D.; INFELD, D.; KAINUMA, M.; KHENNAS, S.; KIM, S.; NIMIR, H.; RIAHI, K.; STRACHAN, N.; WISER, R.; ZHANG, X. Energy Systems. In: **Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Edição: O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel e J.C. Minx. Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2014. Citado nas pp. 54–56, 80.
- CCEE. **Relatório de Resultados Consolidados dos Leilões**. 2023a. Disponível em: <<https://www.ccee.org.br/acervo-ccee?especie=38753&assunto=39056&keyword=consolidado&periodo=1825>>. Acesso em: 5 set. 2023. Citado na p. 50.
- CCEE. **Tipos de Leilões**. 2023b. Disponível em: <<https://view.genial.ly/615f3ba6b5d3aa0dcb01e67e>>. Acesso em: 16 mai. 2023. Citado na p. 43.
- CEPEL. **Atlas do Potencial Elétrico Brasileiro: Simulações 2013**. Rio de Janeiro: CEPEL, 2017. Citado na p. 32.
- CHEIN, F. **Introdução aos modelos de regressão linear: Um passo inicial para compreensão da econometria como uma ferramenta de avaliação de políticas públicas**. Brasília: ENAP, 2019. P. 77. Disponível em: <[https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4788/1/Livro\\_Regress%C3%A3o%20Linear.pdf](https://repositorio.enap.gov.br/bitstream/1/4788/1/Livro_Regress%C3%A3o%20Linear.pdf)>. Acesso em: 28 set. 2023. Citado na p. 43.
- COSTA, L. C. A. D. **Análise Comparativa dos Leilões de Energias Renováveis na América Latina: Argentina, Brasil, Chile e México**. 2020. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Citado na p. 86.
- E+ ENERGIA. **Vídeo Infográficos e Transição Energética Brasileira**. 2022. Disponível em: <<https://emaisenergia.org/video/video-infograficos-e-transicao-energetica-brasileira/>>. Acesso em: 7 nov. 2023. Citado na p. 19.

- EPE. **Áreas de atuação: Energia elétrica - expansão da geração: Fontes.** 2023a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>>. Acesso em: 4 jun. 2023. Citado na p. 30.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2006.** Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-140/topico-125/BEN2006\\_Cap01.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-140/topico-125/BEN2006_Cap01.pdf)>. Acesso em: 21 abr. 2023. Citado na p. 22.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2022.** Rio de Janeiro, 2022a. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>>. Acesso em: 21 abr. 2023. Citado nas pp. 23, 24, 30.
- EPE. **Balanco Energético Nacional 2023.** 2023b. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2023>>. Acesso em: 23 ago. 2023. Citado nas pp. 24, 25, 28.
- EPE. **BEN - Séries Históricas Completas.** 2023c. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/BEN-Series-Historicas-Completas>. Acesso em: 19 jun. 2023. Citado nas pp. 30, 50.
- EPE. **Consumo Mensal de Energia Elétrica por Classe (regiões e subsistemas).** 2023d. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/consumo-de-energia-eletrica>>. Acesso em: 10 out. 2023. Citado nas pp. 85, 86.
- EPE. **Estudos do Plano Decenal de Expansão de Energia 2032 - Demanda e Eficiência Energética.** Mar. 2023e. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20de%20Efici%C3%Aancia%20e%20Demanda%20-%20PDE%202032%20final\\_20230313.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-689/topico-640/Caderno%20de%20Efici%C3%Aancia%20e%20Demanda%20-%20PDE%202032%20final_20230313.pdf)>. Acesso em: 15 mai. 2023. Citado na p. 29.
- EPE. **INFORMATIVO TÉCNICO n. 011/2022.** 2022b. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo%20Tecnico%5C\\_11-2022%5C\\_fatores%20de%20emiss%C3%A3oSMA.pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/areas-de-atuacao/estudos-socioambientais/SiteAssets/Paginas/Emissoes-de-Gases-de-Efeito-Estufa/Informativo%20Tecnico%5C_11-2022%5C_fatores%20de%20emiss%C3%A3oSMA.pdf)>. Acesso em: 5 set. 2023. Citado nas pp. 55, 78, 80.
- EPE. **Mudanças climáticas e Transição energética.** 2023f. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/clima-e-energia>>. Acesso em: 23 abr. 2023. Citado na p. 19.

- GONZÁLEZ, A. Transição energética para a sustentabilidade no Chile e no Brasil: Oportunidades e desafios decorrentes da pandemia por Covid-19. **Latin American Journal of Energy Research**, v. 8, n. 1, p. 1–21, 2021. Citado na p. 19.
- GUZOWSKI, C.; MARTIN, M. M.; ZABALOY, M. F. Energy Poverty: conceptualization and its link to exclusion. Brief review for Latin America. **Revista Ambiente & Sociedade**, TCU, São Paulo, v. 24, 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/asoc/a/ZBHWmN3FZCxVXvHQTmbJCnh/?lang=en>>. Acesso em: 30 mai. 2023. Citado na p. 20.
- IEA. **Electricity generation by source, OECD, 2000-2020**. Licença: CC BY 4.0. 2020. Disponível em: <<https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/electricity-generation-by-source-oecd-2000-2020>>. Acesso em: 28 jun. 2023. Citado nas pp. 26, 27.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Edição: P.R. Shukla, J. Skea, A. Reisinger, R. Slade, R. Fradera, M. Pathak, A. Al Khourdajie, M. Belkacemi, R. van Diemen, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, D. McCollum, S. Some e P. Vyas. Cambridge, UK e New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2022. DOI: 10.1017/9781009157926.001. Acesso em: 8 mai. 2023. Citado na p. 19.
- IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Edição: H. Lee e J. Romero. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023. P. 1–34. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001. Acesso em: 8 mai. 2023. Citado na p. 19.
- LANDI, M. **Energia elétrica e políticas públicas: a experiência do setor elétrico brasileiro no período de 1934 a 2005**. 2006. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo, São Paulo. Citado nas pp. 36, 37.
- LOSEKANN, L.; TAVARES, F. B. **Política Energética no BRICS: desafios da transição energética**. 2019. Disponível em: <<https://www.econstor.eu/bitstream/10419/211446/1/167178071X.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2023. Citado nas pp. 16, 40.
- MARTINS, E. Coeficiente de correlação amostral. **Rev. Ciência Elem.**, v. 2, n. 2, p. 042, 2014. Citado nas pp. 45, 46.
- MARTINS, E. Regressão linear simples. **Rev. Ciência Elem.**, v. 7, n. 3, p. 045, 2019. Citado nas pp. 44, 46.
- MCAFEE, R. P.; MCMILLAN, J. Auctions and bidding. **Journal of economic literature**, JSTOR, v. 25, n. 2, p. 699–738, 1987. Citado na p. 40.

- MERLIN, J. F. B. **Estudo dos impactos da transição energética no mercado livre de energia**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Citado na p. 18.
- MME. **Matriz elétrica brasileira apresenta expansão de 2.746 MW no primeiro trimestre de 2023**. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/matriz-eletrica-brasileira-apresenta-expansao-de-2-746-mw-no-primeiro-trimestre-de-2023>>. Acesso em: 30 mai. 2023. Citado na p. 26.
- NUNES, S. O. **Modelo de avaliação gerencial para transição energética aplicado ao setor eólico**. 2019. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA. 134 f. Mestrado em Engenharia Industrial. Citado nas pp. 23, 37.
- PAMPLONA, N. **Excesso de oferta de energia preocupa e setor já prega suspensão de novos projetos**. Rio de Janeiro, RJ, jun. 2023. Disponível em: <<https://www.aceessa.com/economia/2023/06/151702-excesso-de-oferta-de-energia-preocupa-e-setor-ja-prega-suspensao-de-novos-projetos.html>>. Acesso em: 10 out. 2023. Citado nas pp. 84, 85.
- PARANHOS, R.; FIGUEIREDO FILHO, D. B.; ROCHA, E. C. d.; SILVA JÚNIOR, J. A. d.; NEVES, J. A. B.; SANTOS, M. L. W. D. Desvendando os Mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson: o Retorno. **Leviathan (São Paulo)**, n. 8, p. 66–95, 2014. Acesso em: 29 set. 2023. DOI: 10.11606/issn.2237-4485.lev.2014.132346. Disponível em: <<https://www.revistas.usp.br/leviathan/article/view/132346>>. Citado nas pp. 45, 46.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos, 2017. P. 80. Disponível em: <<http://doi.org/10.34024/978851700089>>. Citado nas pp. 34, 35.
- REIS, F. S. d. **Mudanças climáticas e transição energética justa: reflexões sobre a atuação do TCU**. 2023. F. 101. Monografia (Especialização em Controle da Desestatização e da Regulação) – Instituto Serzedello Corrêa, Escola Superior do Tribunal de Contas da União, Brasília, DF. Citado nas pp. 20, 22.
- RITCHIE, H.; ROSER, M.; ROSADO, P. **CO<sub>2</sub> Emissions**. 2021. Disponível em: <<https://ourworldindata.org/co2-emissions>>. Acesso em: 4 mar. 2023. Citado nas pp. 20, 21.
- SANTOS, F. **Sistema Elétrico Brasileiro: Histórico, estrutura e análise de investimentos no setor**. 2015. Curso de Engenharia de Energia – Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil. Citado na p. 66.

VIANA, A. G. **Leilões como mecanismo alocativo para um novo desenho de mercado no Brasil**. 2017. Doutorado em Sistemas de Potência – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. Acesso em: 2023-09-29. DOI: [10.11606/T.3.2018.tde-06042018-082743](https://doi.org/10.11606/T.3.2018.tde-06042018-082743). Citado na p. 40.