



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
**PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**ALVARO LOPES DE ARAUJO NETO**

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS MATRIZES ELÉTRICAS NAS SUBREGIÕES DA  
CCEE AO LONGO DA ÚLTIMA DÉCADA**

**FORTALEZA-CE**

**2024**

ALVARO LOPES DE ARAUJO NETO

ANÁLISE COMPARATIVA DAS MATRIZES ELÉTRICAS NAS SUBREGIÕES DA CCEE  
AO LONGO DA ÚLTIMA DÉCADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.

FORTALEZA-CE

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- A687a Araujo Neto, Alvares Lopes de.  
Análise comparativa das matrizes elétricas nas subregiões da CCEE ao longo da última década /  
Alvares Lopes de Araujo Neto. – 2024.  
59 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2024.  
Orientação: Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara.
1. Matriz elétrica. 2. Sub-regiões da CCEE. 3. Geração de energia elétrica. I. Título.  
CDD 621.3
-

ALVARO LOPES DE ARAUJO NETO

ANÁLISE COMPARATIVA DAS MATRIZES ELÉTRICAS NAS SUBREGIÕES DA CCEE  
AO LONGO DA ÚLTIMA DÉCADA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: 19/09/2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Raimundo Furtado Sampaio  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Jose Valderi de Matos Júnior

Dedico este trabalho aos meus pais e irmãos, que sempre me apoiaram, e aos meus amigos, que estiveram ao meu lado. Sua confiança e amizade foram fundamentais.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à Universidade Federal do Ceará pelo apoio financeiro na manutenção da bolsa de auxílio durante este período.

Expresso minha profunda gratidão ao Prof. Dr. Raphael Amaral da Câmara pela sua orientação valiosa e apoio inestimável na construção deste trabalho.

Aos meus queridos pais e irmãos, que foram meu alicerce seguro nos momentos difíceis e compreenderam minha ausência enquanto me dedicava a esta empreitada.

Agradeço de coração aos amigos, pela amizade inabalável e apoio constante ao longo desta jornada desafiadora.

Aos colegas de curso, agradeço pela intensa troca de experiências, pelo companheirismo e pelo enriquecimento mútuo vivenciado ao longo dos últimos anos.

## RESUMO

Este trabalho de conclusão de curso investiga a evolução das matrizes elétricas das regiões Nordeste, Norte, Sudeste/Centro-Oeste e Sul da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) ao longo da última década, com foco especial no crescimento e diversificação das gerações de energia renováveis. A pesquisa exhibe as diversas fontes de geração de energia elétrica presentes no Brasil e explora o desenvolvimento da matriz elétrica brasileira entre 2013 e 2023. Analisando tendências, avanços e desafios regionais, apresentando gráficos detalhados de capacidade instalada, geração de energia por região e tipo de usina e, a variação do custo da energia ao longo da década. O estudo destaca a composição diversificada das matrizes elétricas e a expansão das fontes renováveis, além de expor as políticas públicas que impulsionaram esses avanços. Ao compreender as mudanças nas matrizes elétricas regionais, o trabalho oferece *insights* valiosos para promover um sistema elétrico mais sustentável e resiliente. Também visa identificar oportunidades de melhoria, destacando a distribuição geográfica das fontes de energia e o crescimento da capacidade e geração de energia elétrica em cada submercado da CCEE. Esta análise crítica e detalhada busca contribuir para um futuro energético mais promissor, alinhado com as demandas da sociedade e do meio ambiente.

**Palavras-chave:** matriz elétrica; sub-regiões da CCEE; geração de energia elétrica.

## ABSTRACT

This thesis investigates the evolution of the electrical matrices of the Northeast, North, Southeast/Central-West, and South regions of the Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) over the last decade, with a special focus on the growth and diversification of renewable energy generation. The research presents the various sources of electricity generation in Brazil and explores the development of the Brazilian electrical matrix between 2013 and 2023. It analyzes trends, advances, and regional challenges, presenting detailed charts of installed capacity, energy generation by region and plant type, and the variation in energy costs throughout the decade. The study highlights the diversified composition of the electrical matrices and the expansion of renewable sources, while also exposing public policies that have driven these advancements. By understanding the changes in regional electrical matrices, the work provides valuable insights to promote a more sustainable and resilient electrical system. It also aims to identify opportunities for improvement, highlighting the geographical distribution of energy sources and the growth of capacity and electricity generation in each CCEE submarket. This critical and detailed analysis seeks to contribute to a more promising energy future, aligned with the demands of society and the environment.

**Keywords:** electric matrix; CCEE sub-regions; electricity generation.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Esquemático: Usina hidrelétrica de acumulação .....	21
Figura 2	– Divisão geográfica das 12 regiões hidrográficas brasileiras .....	21
Figura 3	– Esquemático: Usina Térmica.....	23
Figura 4	– Usinas térmicas a biomassa em operação em 2015.....	26
Figura 5	– Esquemático: usina eólica <i>onshore</i> .....	27
Figura 6	– Esquemático: usina eólica <i>offshore</i> .....	28
Figura 7	– Potencial eólico brasileiro.....	29
Figura 8	– Esquemático: Usina solar heliotérmica de calha parabólica.....	30
Figura 9	– Esquemático: Sistema solar fotovoltaico.....	30
Figura 10	– Variação da radiação solar horizontal no brasil – média anual .....	31
Figura 11	– Esquemático: Usina nuclear.....	32
Figura 12	– Reservas de urânio identificadas no Brasil.....	33

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Capacidade instalada de geração de energia elétrica em MW (Mega Watts) no Brasil, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	18
Gráfico 2	– Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Sistema Interligado Nacional, período: janeiro 2015 – janeiro 2023 .....	36
Gráfico 3	– Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Sistema Interligado Nacional, período: julho 2006 – janeiro 2015 .....	38
Gráfico 4	– Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Nordeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	39
Gráfico 5	– Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Nordeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	40
Gráfico 6	– Composição da Matriz elétrica do Submercado Nordeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	41
Gráfico 7	– Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Norte, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	42
Gráfico 8	– Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Norte, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	43
Gráfico 9	– Composição da Matriz elétrica do Submercado Norte, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	44
Gráfico 10	– Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Sudeste/Centro-Oeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	45
Gráfico 11	– Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Sudeste/Centro-Oeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	46
Gráfico 12	– Composição da Matriz elétrica do Submercado Sudeste/Centro-Oeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	47
Gráfico 13	– Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Sul, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	48
Gráfico 14	– Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Sul, .....	49

período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	
Gráfico 15 – Composição da Matriz elétrica do Submercado Sul, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	50
Gráfico 16 – Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Sistema Interligado Nacional (SIN), período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	51
Gráfico 17 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Nordeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	52
Gráfico 18 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Norte, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	52
Gráfico 19 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Sudeste/Centro-Oeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	53
Gráfico 20 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Sul, período: janeiro 2013 – janeiro 2023 .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Nordeste .....	40
Tabela 2 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Norte ...	43
Tabela 3 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Sudeste/Centro-Oeste .....	47
Tabela 4 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Sul .....	49

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEEólica	Associação Brasileira de Energia Eólica
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CCEE	Câmara de Comercialização de Energia Elétrica
CMO	Custo Marginal de Operação
CND	Contribuições Nacionalmente Determinadas
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
COPERGAS	Companhia Pernambucana de Gás
COP21	21ª Conferência das Partes
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
LER	Leilão de Energia de Reserva
MCTIC	Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações
MME	Ministério de Minas e Energia
MRE	Ministério de Relações Exteriores
ONS	Operador Nacional do Sistema Elétrico
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PLD	Preço de Liquidação das Diferenças
ProEólica	Programa Emergencial de Energia Eólica
ProGD	Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída
ProInfa	Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
SIN	Sistema Interligado Nacional
UHE	Usina Hidrelétrica de Energia
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change
WNA	World Nuclear Association

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1</b>	<b>Objetivo</b> .....	14
<i>1.1.1</i>	<i>Objetivo Geral</i> .....	15
<i>1.1.2</i>	<i>Objetivos Específicos</i> .....	15
<b>1.2</b>	<b>Metodologia</b> .....	15
<b>1.3</b>	<b>Estrutura do Trabalho</b> .....	16
<b>2</b>	<b>GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL</b> .....	17
<b>2.1</b>	<b>Usinas, Fontes e Geração de Energia Elétrica</b> .....	17
<i>2.1.1</i>	<i>Hidrelétrica</i> .....	19
<i>2.1.2</i>	<i>Termelétrica</i> .....	22
<i>2.1.2.1</i>	<i>Carvão</i> .....	23
<i>2.1.2.2</i>	<i>Gás Natural</i> .....	24
<i>2.1.2.3</i>	<i>Biomassa</i> .....	25
<i>2.1.2.4</i>	<i>Biogás</i> .....	26
<i>2.1.3</i>	<i>Energia Eólica</i> .....	27
<i>2.1.4</i>	<i>Energia Solar</i> .....	29
<i>2.1.5</i>	<i>Energia Nuclear</i> .....	31
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA CARGA INSTALADA E DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA</b> .....	34
<b>3.1</b>	<b>Acordo de Paris</b> .....	34
<b>3.2</b>	<b>ProGD</b> .....	35
<b>3.3</b>	<b>ProEólica</b> .....	37
<b>3.4</b>	<b>ProInfa</b> .....	37
<b>3.5</b>	<b>Submercado Nordeste</b> .....	38
<b>3.6</b>	<b>Submercado Norte</b> .....	41
<b>3.7</b>	<b>Submercado Sudeste/Centro-Oeste</b> .....	44
<b>3.8</b>	<b>Submercado Sul</b> .....	47
<b>4</b>	<b>HISTÓRICO DO PREÇO DA LIQUIDAÇÃO DAS DIFERENÇAS (PLD)</b> .....	51
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	54
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56

# 1 INTRODUÇÃO

O setor de energia elétrica no Brasil tem passado por um período de intensas mudanças e avanços, impulsionados por diversos fatores como o crescimento da demanda, a busca por fontes mais limpas e renováveis, e a necessidade de garantir a segurança e a eficiência do sistema elétrico. Nesse contexto, analisando as matrizes elétricas nas subregiões da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), sendo essencial para compreender a evolução e as particularidades do panorama energético do país. A CCEE é uma entidade sem fins lucrativos, nasceu em 1999 com o nome “Asmae”. É de sua responsabilidade integrar geradores, distribuidores, comercializadores e consumidores, ela garante as condições para que a energia elétrica seja negociada (CCEE, 2024).

Os submercados de energia são divisões do Sistema Interligado Nacional (SIN) devido a presença de restrições elétricas relevantes aos fluxos de energia. Atualmente existem 4 submercados formados pelas regiões do Brasil: Nordeste (NE), Norte (N), Sudeste/Centro-Oeste (SE/CO) e Sul (S).

A análise se concentra não apenas na capacidade instalada de geração de energia de cada submercado, mas também na composição da matriz, com ênfase na evolução do uso de fontes renováveis.

Ao compreender as transformações ocorridas nas matrizes elétricas dos diferentes submercados, é possível obter *insights* valiosos sobre o perfil energético do Brasil, contribuindo para a identificação de oportunidades de melhoria e a promoção de um sistema elétrico mais sustentável e resiliente. Este estudo visa, portanto, fornecer subsídios para conhecimento da composição da matriz elétrica e auxiliar na tomada de decisões estratégicas no setor energético nacional, visando um futuro mais promissor e alinhado com as demandas da sociedade e do meio ambiente.

## 1.1 Objetivo

O presente trabalho tem como propósito investigar e avaliar o desenvolvimento da matriz elétrica brasileira ao longo da última década, mais precisamente no período de 01 de janeiro de 2013 a 01 de janeiro de 2023

### ***1.1.1 Objetivo geral***

Este trabalho tem como objetivo analisar as mudanças na matriz elétrica brasileira como um todo e por submercados da CCEE na última década, dando ênfase na evolução e diversificação das gerações de energia elétrica renováveis.

### ***1.1.2 Objetivos específicos***

Os objetivos específicos para o desenvolvimento do trabalho abrangem:

Avaliar a distribuição das fontes de energia de forma geográfica.

Apresentar o crescimento da capacidade e da geração de energia elétrica em cada um dos submercados da CCEE.

Analisar o histórico do custo da energia elétrica ao longo de 10 anos.

Apresentar políticas governamentais que contribuíram com a estruturação de fontes de energia renováveis no país.

## **1.2 Metodologia**

A metodologia adotada neste estudo consiste em uma análise comparativa das matrizes elétricas das subregiões da CCEE, com foco no período de 2013 a 2023. Inicialmente, é realizada a coleta de dados junto à CCEE, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e outras fontes oficiais do setor elétrico, a fim de obter informações atualizadas e confiáveis sobre a capacidade instalada de geração de energia, a evolução das fontes de energia renovável e os principais indicadores de cada submercado.

A análise dos dados é conduzida de forma quantitativa, por meio de gráficos e tabelas comparativas, permitindo a visualização e interpretação dos resultados de maneira objetiva. São considerados aspectos como a participação das fontes renováveis, a variação da capacidade instalada ao longo do tempo e a distribuição geográfica da geração de energia elétrica nas diferentes regiões do país.

Além disso, são realizadas análises qualitativas para contextualizar os dados, considerando fatores como políticas públicas e marcos regulatórios que possam influenciar a evolução das matrizes elétricas. A integração de abordagens quantitativas e qualitativas



permite uma compreensão mais abrangente e aprofundada do cenário energético brasileiro, contribuindo para a identificação de oportunidades e desafios para o setor elétrico no futuro.

### **1.3 Estrutura do Trabalho**

O presente trabalho é composto pela seguinte estruturação. O capítulo 1 apresenta a parte introdutória, mostrando a ideia e importância do trabalho. O capítulo 2 contextualiza a formação da matriz elétrica e seus tipos de usinas. O capítulo 3 apresenta uma gama de dados sobre o desenvolvimento de cada submercado. O capítulo 4 expõe dados referentes a variação dos preços de energia elétrica. O capítulo 5 apresenta as conclusões e ideias de trabalhos futuros.

## 2 GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL

Neste capítulo, é apresentada uma contextualização da geração de energia elétrica no Brasil, com foco nos principais tipos de usinas e fontes de geração. A análise aborda as características distintivas das usinas hidrelétricas, termelétricas, eólicas, solares e nuclear presentes na matriz energética brasileira. Este panorama proporciona uma compreensão abrangente das dinâmicas que moldam o setor de energia elétrica no Brasil e serve como base para as discussões subsequentes sobre desafios, oportunidades e tendências nesse campo.

### 2.1 Usinas, Fontes e Geração de Energia Elétrica

Ao longo da última década, o Brasil experimentou um crescimento em sua capacidade instalada de geração de energia elétrica, marcando avanços significativos no setor. No período compreendido entre 2013 e 2023, o país testemunhou um aumento na diversificação de suas fontes, impulsionado por fatores que vão desde avanços tecnológicos até a consciência crescente sobre a importância da sustentabilidade. No Gráfico 1 é mostrado o crescimento da capacidade instalada das usinas do Brasil, de forma comparativa por tipo de usina no período de 2013 à 2023 (ONS, 2024).

Um dos fatores-chave que impulsionou esse crescimento é a privilegiada geografia brasileira, que oferece um cenário propício para o desenvolvimento de fontes de energia renovável (LACTEC, 2022). A abundância de recursos naturais, como sol, vento e água, tem permitido ao Brasil expandir significativamente suas capacidades em energia solar, eólica e hidrelétrica. A energia hidrelétrica, historicamente predominante no país, continua sendo uma força motriz importante, aproveitando rios extensos e robustos sistemas hidrográficos.

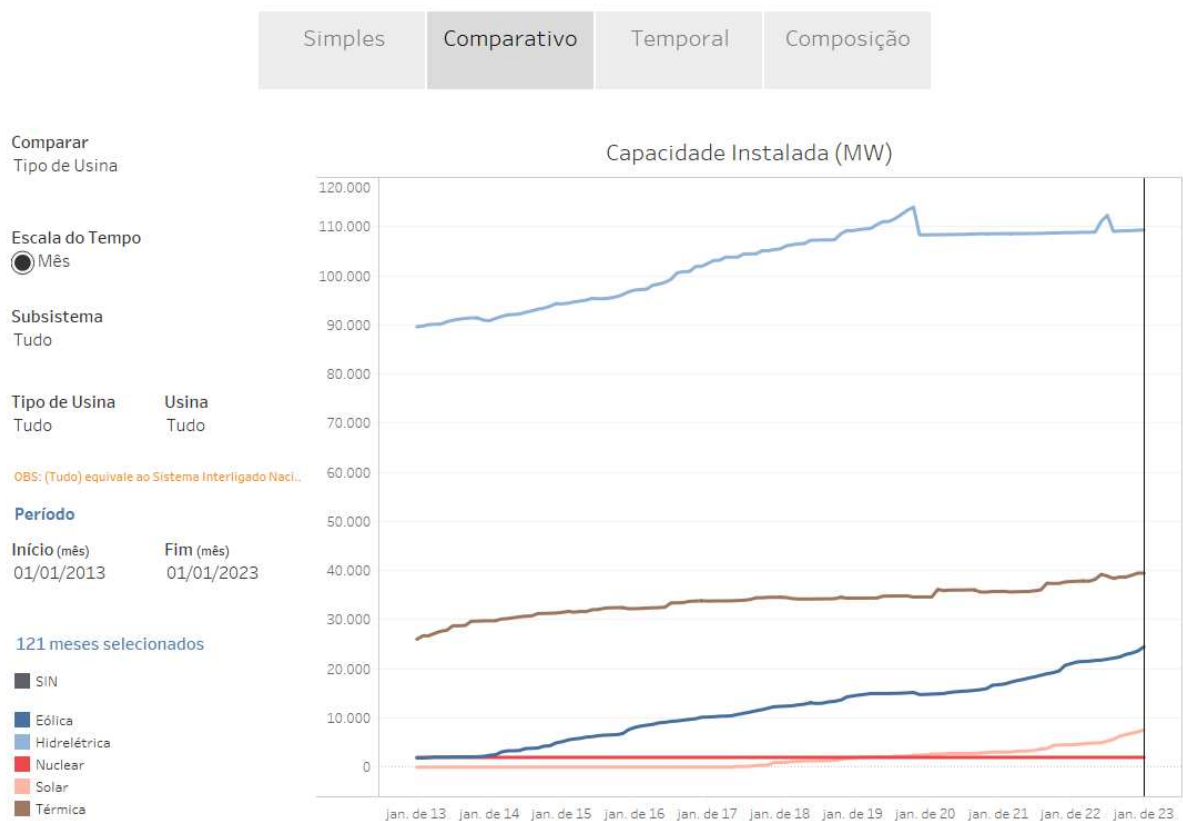
Durante esse período, houve um destaque notável para o crescimento das fontes renováveis. A energia solar, com investimentos significativos em parques fotovoltaicos, viu um aumento em sua participação na matriz energética brasileira. Da mesma forma, a energia eólica, aproveitando os ventos favoráveis em diversas regiões, registrou um crescimento expressivo (Gráfico 1).

Entretanto, mesmo com o progresso significativo nas energias renováveis, o Brasil ainda se beneficia do uso estratégico de usinas térmicas para complementar sua demanda elétrica (DELTA ENERGIA, 2024). Essa abordagem é particularmente crucial em momentos de variação na geração de fontes renováveis, como períodos de pouca incidência solar ou

ventos menos intensos. As usinas térmicas, muitas vezes alimentadas por carvão mineral, gás natural ou biomassa, fornecem uma fonte estável e confiável de eletricidade para garantir a continuidade do suprimento.

A busca por um mix energético equilibrado reflete a necessidade de atender às crescentes demandas do país de maneira sustentável e confiável. O Brasil continua a navegar por esse caminho, alinhando seu desenvolvimento econômico com práticas responsáveis em relação ao meio ambiente, promovendo assim um setor elétrico mais resiliente e eficiente.

*Gráfico 1 – Capacidade instalada de geração de energia elétrica em MW (Mega Watts) no Brasil, período: janeiro 2013 – janeiro 2023*



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

É importante ressaltar que a queda da capacidade instalada das hidrelétricas, de novembro à dezembro de 2019 ocorre devido o Plano da Operação Energética 2020/2024 que não inclui o montante referente às compras de Itaipu 50 Hz, tendo uma perda de 5.667 MW na contabilização (ONS, 2020).

### **2.1.1 Hidrelétrica**

A geração de energia hidrelétrica resulta da utilização do fluxo das águas em uma usina, na qual as obras civis desempenham um papel crucial, envolvendo tanto a construção quanto o desvio do rio e a formação do reservatório (ENEL, 2024). Ao contrário das usinas termelétricas, cujas instalações são mais simples, a construção de uma hidrelétrica demanda a contratação da indústria da construção pesada.

A classificação de uma usina hidrelétrica envolve variáveis essenciais, como altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório. Esses fatores são interdependentes, onde a altura da queda d'água e a vazão, dependentes do local de construção, determinam a capacidade instalada. Esta, por sua vez, influencia o tipo de turbina, barragem e reservatório (ENEL, 2024).

Existem dois tipos principais de reservatórios: acumulação e fio d'água. Os reservatórios de acumulação, geralmente localizados na cabeceira dos rios em locais de altas quedas d'água, permitem o acúmulo significativo de água, funcionando como estoques a serem utilizados durante períodos de estiagem. Além disso, por estarem localizados a montante das demais hidrelétricas, regulam a vazão da água para permitir a operação integrada do conjunto de usinas. Também há usinas com um sistema reversível, conhecidas como usinas reversíveis. Elas utilizam um sistema de bombeamento que retorna a água para o reservatório fazendo com que passem novamente pela turbina, isso é feito ou não com cálculos de viabilidade financeira que compensam o gasto para realizar o retorno da água. Por outro lado, as unidades a fio d'água geram energia com o fluxo contínuo do rio, sem acumulação significativa do recurso hídrico (ANEEL, 2008).

A geração de energia hidrelétrica requer a integração cuidadosa da vazão do rio, a quantidade de água disponível em determinado período e os desníveis do relevo, sejam eles naturais, como quedas d'água, ou criados artificialmente (ANEEL, 2008).

A estrutura de uma usina hidrelétrica de acumulação é composta, principalmente, por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, operando de forma conjunta e integrada. A barragem tem como finalidade interromper o curso normal do rio, possibilitando a formação do reservatório. Além de armazenar água, esses reservatórios desempenham diversas funções, incluindo a criação do desnível necessário para a geração de energia hidráulica, a captação adequada de água e a regulação da vazão dos rios durante períodos de chuva ou estiagem (ANEEL, 2008).

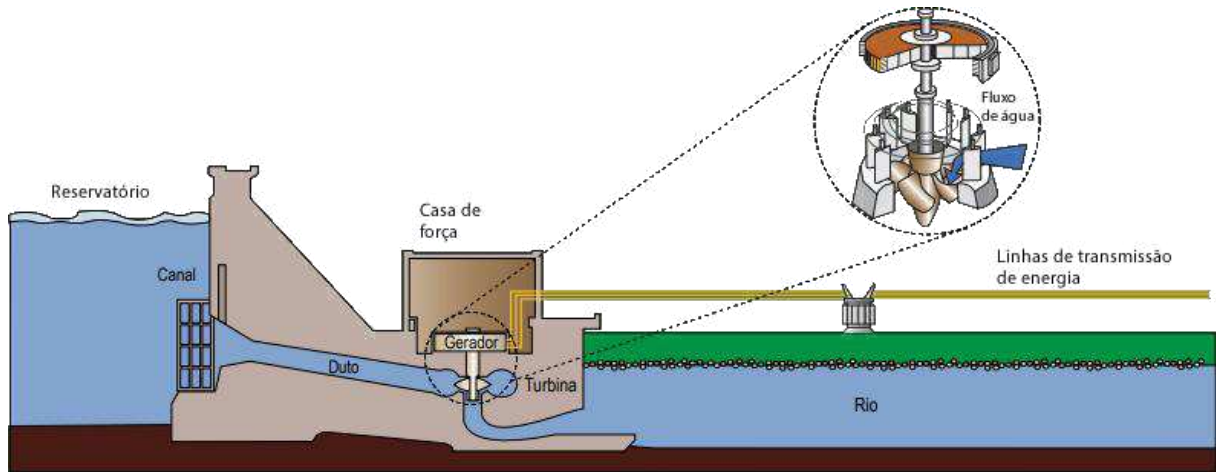
As usinas hidrelétricas de fio d'água são situadas próximo à superfície e utilizam turbinas que aproveitam a velocidade do rio para gerar energia. Essas usinas reduzem as áreas de alagamento e não formam reservatórios para armazenar a água, o que implica em uma capacidade de armazenamento de água mais limitada, uma vez que não há acúmulo para períodos de seca (ANEEL, 2008).

Os sistemas de captação e adução incluem túneis, canais ou condutos metálicos, encarregados de transportar a água até a casa de força. Nessa instalação, encontram-se as turbinas, compostas por pás ligadas a um eixo conectado ao gerador. Durante seu movimento giratório, as turbinas convertem a energia cinética da água em energia elétrica através dos geradores. Após passar pela turbina, a água é devolvida ao leito natural do rio pelo canal de fuga. Os principais tipos de turbinas hidráulicas são *Pelton*, *Kaplan*, *Francis* e *Bulbo*, sendo cada uma adaptada para operar em usinas com uma determinada faixa de altura de queda e vazão. A turbina tipo Bulbo é comumente utilizada em usinas fio d'água devido à sua adequação para baixas quedas e altas vazões, dispensando a necessidade de grandes reservatórios (ANEEL, 2008).

Por fim, o vertedouro tem a função de permitir a saída da água sempre que os níveis do reservatório ultrapassam os limites recomendados. A abertura do vertedouro pode ocorrer devido ao excesso de vazão ou de chuva, buscando evitar enchentes na região circundante da usina durante períodos chuvosos (ANEEL, 2008).

A classificação de uma usina quanto à sua potência instalada determina se é de grande ou médio porte ou uma Pequena Central Hidrelétrica (PCH). A Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) adota três categorias: Centrais Geradoras Hidrelétricas (com até 1 MW de potência instalada), Pequenas Centrais Hidrelétricas (entre 1,1 MW e 30 MW de potência instalada) e Usina Hidrelétrica de Energia (UHE, com mais de 30 MW) (ANEEL, 2020). Na Figura 1 é apresentado um perfil esquemático de uma usina hidrelétrica de acumulação.

*Figura 1 – Esquemático: Usina hidrelétrica de acumulação*



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008).

De acordo com informações do Ministério de Relações Exteriores (MRE, 2024), o Brasil possui aproximadamente 12% das reservas globais de água doce e abriga 53% dos recursos hídricos da América do Sul. A extensão dos cursos d'água é tão vasta que inviabiliza a gestão por bacias, resultando na criação das regiões hidrográficas, estabelecidas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). Ao todo o país possui 12 regiões hidrográficas, são elas, RH Amazônica, RH Atlântico Leste, RH Atlântico Sudeste, RH Tocantins-Araguaia, RH Atlântico Nordeste Ocidental, RH Atlântico Nordeste Oriental, RH Parnaíba, RH São Francisco, RH Atlântico Sul, RH Paraguai, RH Paraná e RH Uruguai. Na Figura 2 é possível observar sua divisão geográfica.

*Figura 2 – Divisão geográfica das 12 regiões hidrográficas brasileiras*



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022).

### 2.1.2 *Termelétrica*

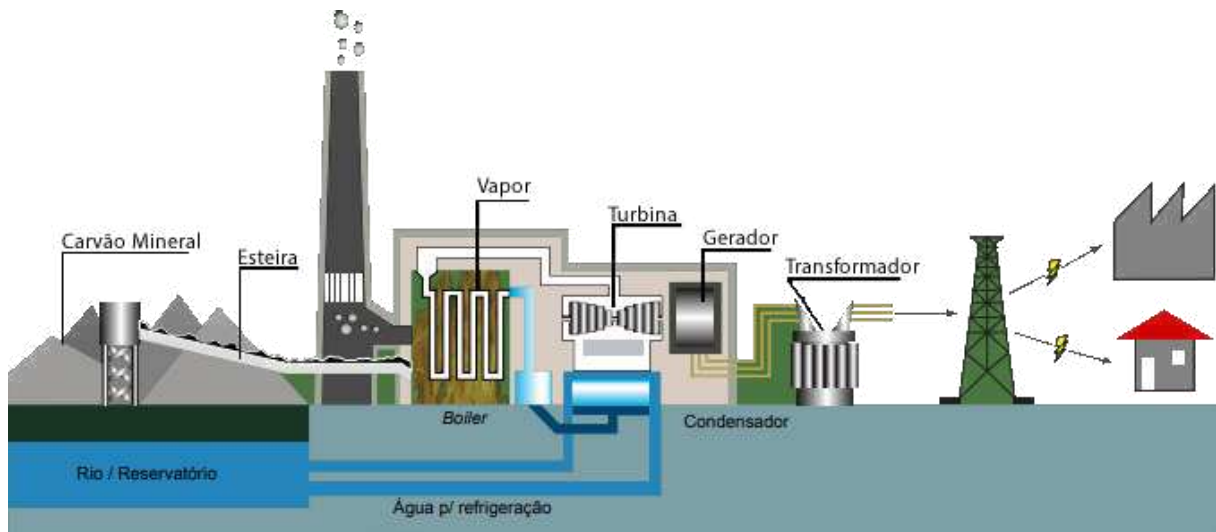
O funcionamento de uma usina termelétrica requer diversos processos, desde a geração inicial de calor até a conversão desse calor em eletricidade. A jornada inicia-se com a queima do combustível escolhido, que pode ser carvão, gás natural, óleo combustível, biomassa, entre outros. Durante esse processo, ocorre a liberação de calor e de produtos de combustão, como dióxido de carbono, vapor d'água e outros gases, variando conforme o tipo de combustível (ANEEL, 2008).

O calor desta queima desempenha um papel central ao aquecer um fluido de trabalho, que pode ser água, óleo térmico ou outro meio, dependendo de condições específicas da usina. Esse fluido aquecido é então utilizado para gerar vapor, onde a água é elevada a altas temperaturas e pressões antes de ser encaminhada para uma turbina (ANEEL, 2008).

A turbina é acionada pela expansão do vapor. Esse movimento rotativo da turbina desempenha um papel crucial ao converter a energia térmica em energia mecânica. Quando conectada a um gerador, essa energia mecânica é finalmente convertida em eletricidade por meio do princípio da indução eletromagnética (ANEEL, 2008).

Após passar pela turbina, o vapor é direcionado para um condensador, que geralmente é resfriado por um sistema de água de resfriamento. A condensação transforma o vapor de volta ao estado líquido, e esse líquido é reintroduzido no ciclo para ser aquecido novamente. Adicionalmente, a maioria das usinas termelétricas incorpora sistemas de resfriamento, como torres de resfriamento ou a utilização de corpos d'água locais, para dissipar o calor residual. Esses processos garantem a eficácia na conversão de calor em eletricidade, com considerações ambientais e eficiência energética (ANEEL, 2008). Na Figura 3 é apresentado um esquemático de uma termelétrica que tem como fonte o carvão mineral.

*Figura 3 – Esquemático: Usina Térmica*



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008).

O Brasil, conhecido por sua diversidade energética, emprega uma variedade de fontes na geração de energia elétrica, incluindo carvão mineral, biomassa e outras fontes. Embora o carvão mineral seja uma fonte tradicional em algumas usinas termelétricas do país, o cenário energético brasileiro destaca-se pela sua abordagem diversificada e sustentável (CONAB, 2011).

O uso de carvão mineral nas usinas termelétricas oferece uma fonte estável de energia, sendo uma opção viável para garantir a segurança do suprimento elétrico. No entanto, o Brasil tem buscado ativamente alternativas mais sustentáveis e renováveis para complementar sua matriz energética (CONAB, 2011).

A biomassa, proveniente de resíduos orgânicos, desempenha um papel significativo na matriz energética brasileira. Usinas termelétricas adaptadas para queimar biomassa, como bagaço de cana-de-açúcar, resíduos agrícolas e de madeira, contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa e para a promoção de uma matriz energética mais limpa (CONAB, 2011).

#### 2.1.2.1 Carvão

Na natureza, existem dois tipos principais de carvão: vegetal e mineral. O carvão vegetal é produzido a partir da carbonização da lenha, enquanto o carvão mineral se forma pela decomposição de matéria orgânica, como restos de árvores e plantas, ao longo de milhões de anos sob condições específicas de temperatura e pressão (EMBRAPA, 2021).



O carvão mineral é composto por átomos de carbono, oxigênio, nitrogênio e enxofre, além de outros elementos rochosos, como arenito, silito, folhelhos, diamictitos, e minerais como a pirita (ANEEL, 2008).

Embora sua extração e uso na geração de energia tragam benefícios econômicos, como a criação de empregos diretos e indiretos, o aumento da demanda por bens e serviços na região, e o crescimento da arrecadação tributária, todo o processo, desde a extração até a combustão, causa impactos socioambientais significativos. A ocupação do solo necessária para explorar as jazidas, por exemplo, afeta a vida das comunidades locais, os recursos hídricos, e a flora e fauna, gerando ruídos, poeira e erosão. O transporte do carvão contribui para a poluição sonora e problemas no trânsito (ANEEL, 2008).

No entanto, o carvão é uma das fontes de energia mais prejudiciais ao meio ambiente. O impacto mais grave é a grande emissão de gases, como nitrogênio (N) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), resultante da combustão (Ambiente Brasil, 2021).

#### *2.1.2.2 Gás Natural*

De acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), o gás natural é uma substância formada por hidrocarbonetos que permanecem em estado gasoso sob condições atmosféricas normais. Ele é composto principalmente de metano (CH<sub>4</sub>), que representa mais de 70% de sua composição, seguido pelo etano (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) e, em menores quantidades, pelo propano (C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), que geralmente constitui menos de 2% do total.

A importância dos derivados obtidos do refino do petróleo e do processamento do gás natural é evidenciada por suas diversas aplicações. Por exemplo, o GLP (gás de cozinha) e o gás natural são amplamente utilizados em residências, enquanto gasolina, diesel, querosene de aviação e GNV (gás natural veicular) são essenciais para o setor de transporte (ANP, 2020).

O gás natural também pode ser utilizado para a geração de energia elétrica. Isso o torna uma opção ideal para atender à crescente demanda de consumidores de grandes volumes, como as usinas termelétricas (ANEEL, 2008).

De acordo com a Companhia Pernambucana de Gás (COPERGAS), a tecnologia mais comum para essa aplicação é a das usinas de ciclo combinado a gás natural, que oferece várias vantagens, incluindo alta eficiência, benefícios ambientais, e redução de custos em comparação com outras alternativas energéticas. A crescente demanda por gás natural no setor de geração de energia, com seus grandes volumes, contribui significativamente para o

fortalecimento do mercado de gás natural e para o desenvolvimento estratégico da cadeia energética nacional.

### *2.1.2.3 Biomassa*

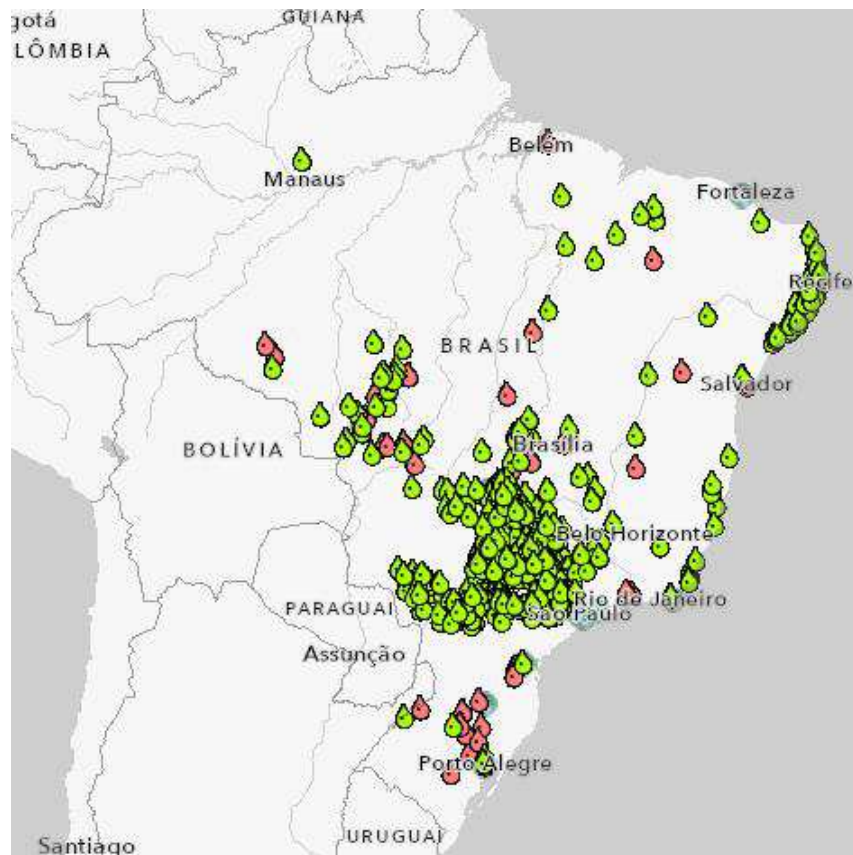
Qualquer matéria orgânica que possa ser convertida em energia mecânica, térmica ou elétrica é classificada como biomassa. De acordo com sua origem, a biomassa pode ser dividida em florestal (principalmente madeira), agrícola (como soja, arroz e cana-de-açúcar) e resíduos urbanos e industriais (sólidos ou líquidos, como o lixo). Os produtos derivados da biomassa dependem tanto da matéria-prima utilizada (cujo potencial energético varia) quanto da tecnologia de processamento empregada (RAÍZEN, 2022).

Há 50 anos, a fonte de energia principal do Brasil era a partir da madeira provinda das matas nativas, cerca de 50% (RAÍZEN, 2022).

Em regiões menos desenvolvidas, a biomassa mais comumente utilizada ainda é a de origem florestal. Além disso, os processos de geração de energia nessas regiões geralmente têm baixa eficiência, exigindo grandes volumes de matéria-prima para produzir pequenas quantidades de energia. Uma exceção é a utilização da biomassa florestal em processos de cogeração industrial. No processamento da madeira para a extração de celulose, por exemplo, é possível obter a lixívia negra (ou licor negro), que é utilizada como combustível em usinas de cogeração na própria indústria de celulose. O licor negro, gerado pela indústria de papel e celulose, é o combustível de apenas 22 empreendimentos, mas estes são capazes de gerar 3.334 MW, sendo a segunda maior potência entre as subfontes da biomassa (MME, 2024).

Em 2023, a geração de energia a partir da biomassa alcançou um recorde histórico de contribuição ao Sistema Interligado Nacional (SIN). Foram produzidos 3.218 megawatts médios, correspondendo a 4,6% do total da demanda energética consumida no ano passado. Esses dados foram divulgados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME, 2024). Na Figura 4 é apresentado a distribuição das usinas térmicas com fonte de biomassa presentes no Brasil.

Figura 4 – Usinas térmicas a biomassa em operação em 2024



Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2024).

#### 2.1.2.4 Biogás

O biogás é um gás gerado pela fermentação anaeróbia da matéria orgânica. Resíduos vegetais e dejetos de animais, como suínos, aves e bovinos de leite, podem ser eficientemente processados em biodigestores, produzindo biogás e biofertilizante como subproduto. Esse processo reduz o impacto ambiental causado pelo despejo na natureza desses resíduos (EMBRAPA, 2021).

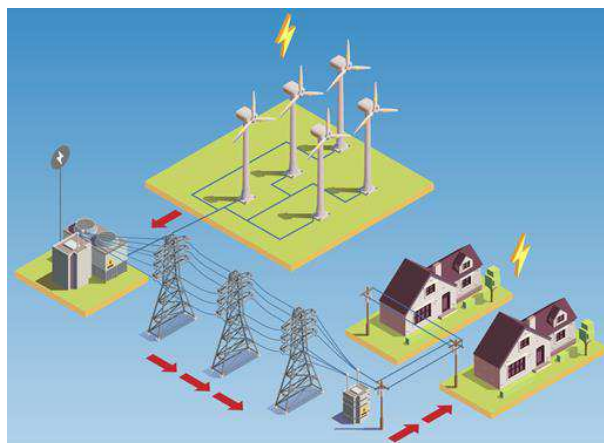
Em 2008, a Aneel autorizou a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (Copel) a implementar um projeto-piloto para a compra de energia excedente gerada em pequenas propriedades rurais do Paraná a partir de dejetos animais. Denominado Programa de Geração Distribuída com Saneamento Ambiental, o projeto visa utilizar o material orgânico proveniente da criação de suínos, evitando seu descarte em rios e reservatórios, como o da usina hidrelétrica de Itaipu. Os resíduos serão convertidos em biogás através de biodigestores, que será utilizado como combustível para a produção de energia elétrica (ANEEL 2008).

### 2.1.3 Energia Eólica

A energia eólica representa uma forma de geração energética impulsionada pela força dos ventos, os quais movimentam turbinas para converter energia mecânica em eletricidade. Esta abordagem é notoriamente reconhecida por sua natureza ambientalmente amigável, pois não introduz poluentes no meio ambiente durante o processo de geração de energia, além de ser classificada como renovável, dado seu aproveitamento de uma fonte inesgotável (Iberdrola, 2024).

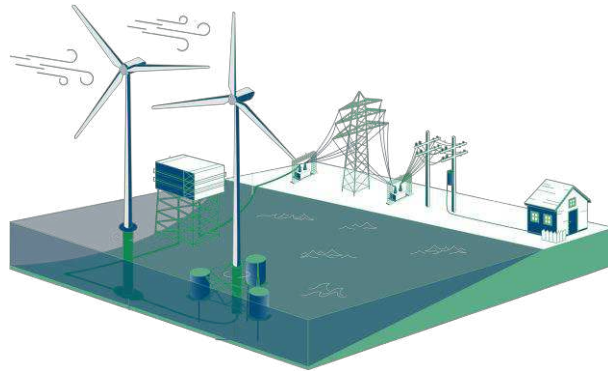
O processo de geração de energia eólica envolve a captação da energia cinética dos ventos, movendo as pás das turbinas e ativando os aerogeradores (turbinas). Essa ação resulta na produção de energia mecânica, subsequente à transformação em eletricidade por meio de indução eletromagnética em um gerador. As turbinas são estrategicamente instaladas em locais elevados para maximizar a captação de vento. Parques eólicos, constituídos por agrupamentos de aerogeradores, podem ser implantados tanto em áreas terrestres (*onshore*) quanto no oceano (*offshore*). A energia eólica *offshore*, situada em parques no mar, se beneficia de ventos mais constantes e velozes, uma vez que não há obstáculos físicos que interfiram no fluxo dentro do oceano. Contrastando com isso, a energia *onshore* é gerada em terra, e uma distinção notável é a utilização de pás de turbinas menores para garantir a segurança e proteção da infraestrutura do parque (Iberdrola, 2024). Na Figura 5 é ilustrado um esquemático simplificado de uma geração e distribuição de energia elétrica provida de usina eólica *onshore* e na Figura 6 a geração e distribuição provida de uma usina eólica *offshore*.

Figura 5 – Esquemático: usina eólica onshore



Fonte: Cabeólica (2022).

*Figura 6 – Esquemático: usina eólica offshore*

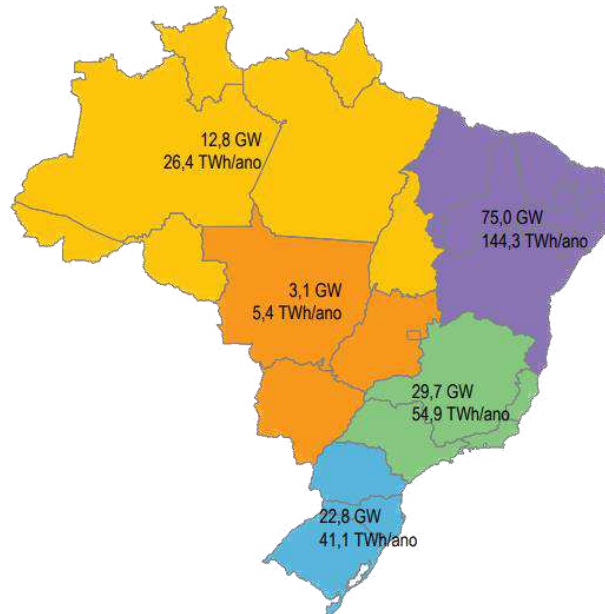


Fonte: Invenenergy (2024).

O Brasil possui uma vantagem significativa no que diz respeito aos ventos, caracterizados por uma presença que é duas vezes superior à média mundial e por uma volatilidade de 5% na oscilação da velocidade, conferindo uma maior previsibilidade à produção de energia eólica, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008). Além disso, a velocidade do vento tende a ser mais elevada durante os períodos de estiagem, permitindo a operação complementar das usinas eólicas em conjunto com as usinas hidrelétricas. Essa abordagem contribui para a preservação dos níveis de água nos reservatórios durante períodos de escassez de chuvas (ANEEL, 2008).

A análise apresentada na Figura 7, que mostra o potencial eólico nas regiões do Brasil, revela que as regiões com maior potencial medido estão localizadas no Nordeste, especialmente no litoral (75 GW); no Sudeste, com destaque para o Vale do Jequitinhonha (29,7 GW); e no Sul (22,8 GW), onde se encontra o maior parque eólico do país, o de Osório, no Rio Grande do Sul, com uma capacidade de 150 MW.

*Figura 7 – Potencial eólico brasileiro*



Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008).

#### **2.1.4 Energia Solar**

A radiação solar chega à Terra em formas térmica e luminosa por meio de radiação, mas sua distribuição pela crosta terrestre não é uniforme, variando de acordo com a latitude, estação do ano e condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar.

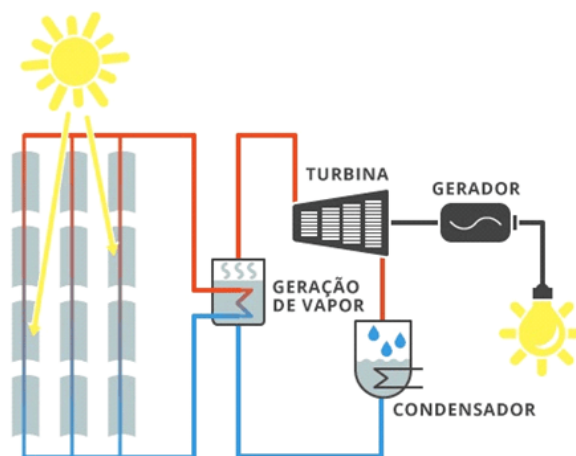
Quando a radiação solar atravessa a atmosfera terrestre, a maior parte dela se manifesta como luz visível, raios infravermelhos e raios ultravioleta. Essa luz pode ser captada e convertida em energia útil para o homem, seja na forma térmica ou elétrica, dependendo dos dispositivos utilizados nesse processo (PORTAL SOLAR, 2024).

Para a geração de energia elétrica, existem dois sistemas principais: heliotérmico e fotovoltaico. No sistema heliotérmico, a irradiação solar é transformada em calor, utilizado em usinas termelétricas para produzir eletricidade. Esse processo envolve a coleta da irradiação, sua conversão em calor, o transporte e armazenamento, culminando na conversão final em eletricidade. A eficácia desse sistema depende da disponibilidade de irradiação solar direta, sendo mais adequado em locais com pouca nebulosidade e baixos índices pluviométricos, como no semiárido brasileiro (PORTAL SOLAR, 2024). Um esquemático desse sistema é ilustrado na Figura 8.

Já no sistema fotovoltaico, que é apresentado um esquemático na Figura 9, a transformação direta da radiação solar em eletricidade ocorre ao adaptar um material

semicondutor, geralmente o silício. Esse material, ao ser estimulado pela radiação, possibilita o fluxo eletrônico, gerando partículas positivas e negativas. Todas células fotovoltaicas possuem pelo menos duas camadas de semicondutores, formando uma junção eletrônica. Quando a luz solar atinge essa junção, o campo elétrico resultante permite o fluxo de eletricidade na forma de corrente contínua. O sistema fotovoltaico é capaz de gerar eletricidade mesmo em dias nublados, não dependendo exclusivamente da luminosidade solar (ANEEL, 2008).

*Figura 8 – Esquemático: Usina solar heliotérmica de calha parabólica*



Fonte: Portal Solar (2024).

*Figura 9 – Esquemático: Sistema solar fotovoltaico*

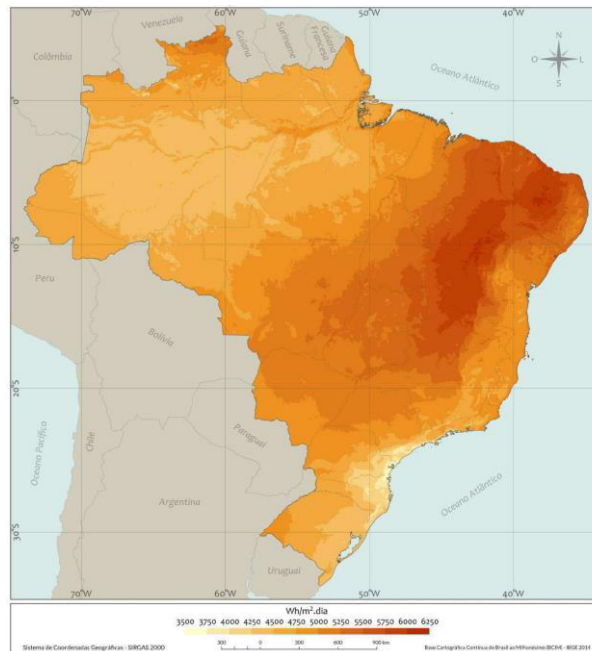


Fonte: NeoSolar (2024).

De acordo com a ANEEL o Brasil desfruta de uma vantagem notável em relação à radiação solar. Conforme detalhado no Plano Nacional de Energia 2030, que utiliza dados do Atlas Solarimétrico do Brasil. O Nordeste apresenta níveis de radiação comparáveis aos de algumas das melhores regiões do mundo nesse aspecto, tais como a cidade de Dongola, no

deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave, Califórnia. No entanto, esse cenário não se repete em outras localidades mais afastadas da linha do Equador, como as regiões Sul e Sudeste, que concentram a maior parte da atividade econômica no país. A variação desses níveis é ilustrada na Figura 10.

*Figura 10 – Variação da radiação solar horizontal no Brasil – média anual*



Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017).

### **2.1.5 Energia Nuclear**

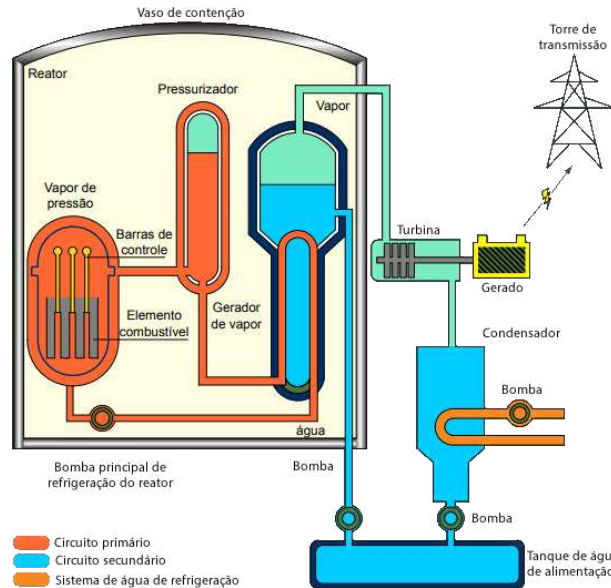
As usinas térmicas destinadas à geração de energia elétrica que utilizam o átomo de urânio, são conhecidas como usinas termonucleares. De acordo com a Indústria Nuclear do Brasil (INB), o núcleo do átomo passa por um processo de fissão (divisão). Quando esse processo ocorre de forma gradual, é liberada energia na forma de calor; se liberada de maneira rápida, manifesta-se como luz. Nas usinas termonucleares, a liberação ocorre lentamente, aquecendo a água presente nos reatores para produzir vapor, que, por sua vez, movimentam as turbinas, assim como as usinas termoelétricas.

Essas usinas possuem uma estrutura denominada vaso de pressão, responsável por conter a água de refrigeração do núcleo do reator, onde está o combustível nuclear. Essa água, altamente radioativa, circula em um circuito fechado denominado circuito primário, passando por um gerador de vapor. Este circuito primário aquece outra corrente de água que circula



pelo gerador (circuito secundário), transformando-a em vapor e acionando a turbina para a produção de energia elétrica. Os dois circuitos não possuem comunicação direta entre si, para evitar uma contaminação radioativa (ANEEL, 2008). Na Figura 11 é mostrado um esquemático de uma usina nuclear.

Figura 11 – Esquemático: Usina nuclear



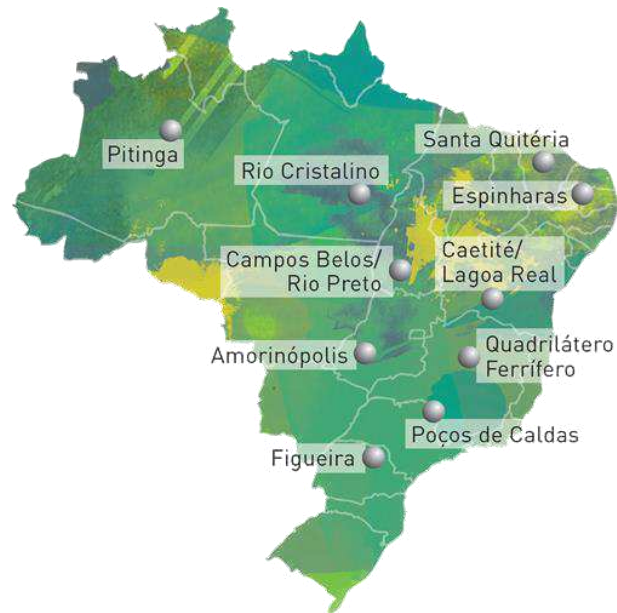
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008).

De acordo com a *World Nuclear Association* (WNA), o Brasil destaca-se internacionalmente devido aos seus consideráveis recursos de urânio, totalizando cerca de 232.813 toneladas de urânio contido ( $U_3O_8$ ), distribuídas em estados como Bahia, Ceará, entre outros.

Acredita-se que esses recursos sejam ainda mais expressivos, uma vez que menos de um terço do território brasileiro foi objeto de pesquisas minerais. A região Norte do país, em particular, apresenta um potencial significativo, estimando-se que possa abrigar mais de 300 mil toneladas de urânio. Áreas promissoras, como Pitinga (Amazonas), onde o urânio está associado a outros minerais, e o Pará, já tiveram potenciais identificados (WNA, 2021).

No cenário global, os países com maiores perspectivas de recursos de urânio incluem Austrália, Cazaquistão, Canadá, Rússia, Namíbia, África do Sul, Brasil, Níger e China. Na Figura 12 é mostrado a localização dos recursos de urânio identificados no país (WNA, 2021).

*Figura 12 – Reservas de urânio identificadas no Brasil*



Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil (INB, 2021).

### 3 ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA CARGA INSTALADA E GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Neste capítulo, é realizada uma análise do progresso na matriz elétrica dos submercados da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) ao longo de uma década. A investigação se concentra no exame do aumento da carga instalada e do tipo de geração em diferentes regiões, destacando os avanços e transformações ocorridos nesse período. Além disso, é dedicada uma atenção especial à composição da matriz, com ênfase na evolução e diversificação do uso de fontes renováveis de energia. A avaliação cuidadosa desses fatores proporcionará *insights* valiosos sobre as mudanças no perfil energético regional, contribuindo para uma compreensão mais profunda das tendências e desafios enfrentados pelo setor elétrico ao longo do tempo. Além da análise no período estudado também é necessário o conhecimento das políticas que influenciaram o desenvolvimento das energias renováveis na matriz e quais resultados foram obtidos.

#### 3.1 Acordo de Paris

É inevitável falar sobre o desenvolvimento elétrico ou energético e não mencionar um marco tão importante na história da humanidade como o Acordo de Paris. De acordo com o Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC, 2024), este tratado global foi adotado em dezembro de 2015 pelos países participantes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC, acrônimo em inglês), durante a 21ª Conferência das Partes (COP21) estabelece medidas concretas para reduzir as emissões de dióxido de carbono a partir de 2020, visando fortalecer a resposta à ameaça da mudança climática e reforçar a capacidade dos países de lidar com os impactos decorrentes dessas mudanças.

No âmbito deste acordo, os governos comprometeram-se a agir para manter o aumento da temperatura média global abaixo dos 2 °C em relação aos níveis pré-industriais, com esforços para limitar o aumento a 1,5 °C. Para isso, os países apresentaram planos de ação nacionais abrangentes para reduzir suas emissões por meio da formulação de suas Contribuições Nacionalmente Determinadas (CND).

O governo brasileiro comprometeu-se em sua CND a reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% até 2025, com uma contribuição indicativa subsequente de redução de 43% até 2030, em relação aos níveis de emissões estimados para 2005. Este compromisso

reflete o comprometimento do Brasil com os esforços internacionais para combater a mudança climática e suas consequências.

### 3.2 ProGD

O Programa de Desenvolvimento de Geração Distribuída (ProGD) foi lançado em 2015 pelo MME, é um programa que promove a produção de energia elétrica por meio de sistemas de geração de pequena escala, localizados próximos aos pontos de consumo. Este tipo de geração descentralizada é uma alternativa aos modelos tradicionais, onde a energia é produzida em grandes centrais elétricas distantes dos consumidores finais (MME, 2020).

Os principais objetivos do programa de Geração Distribuída incluem (MME, 2020):

- **Promoção da Sustentabilidade Energética:** Ao incentivar a geração de energia local, o programa busca diversificar a matriz energética, reduzir a dependência de fontes não renováveis e contribuir para a sustentabilidade ambiental.
- **Redução de Perdas de Transmissão:** A geração distribuída evita as perdas significativas de energia que ocorrem durante a transmissão de eletricidade em longas distâncias.
- **Resiliência do Sistema Elétrico:** A distribuição da geração de energia reduz a vulnerabilidade do sistema elétrico a falhas em pontos específicos, melhorando a resiliência contra interrupções.
- **Estímulo à Inovação Tecnológica:** O programa fomenta o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de geração distribuída, como painéis solares fotovoltaicos, turbinas eólicas de pequeno porte, sistemas de cogeração, entre outros.

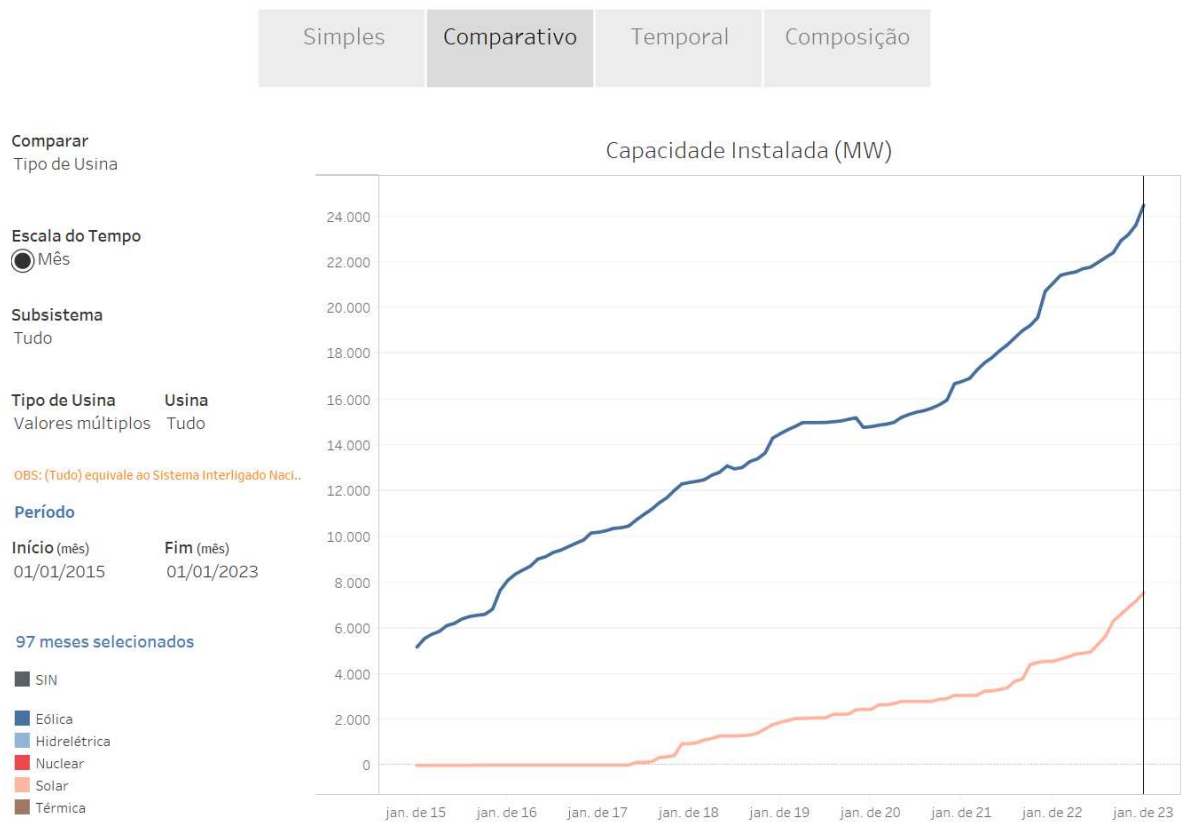
No contexto da transição energética para uma economia de baixo carbono, a geração distribuída desempenha um papel crucial ao permitir uma maior integração de fontes renováveis de energia na rede elétrica. Isso também oferece oportunidades para os consumidores gerarem sua própria eletricidade e contribuírem ativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa.

No Brasil, o programa de Geração Distribuída teve marcos importantes, como a Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, que estabeleceu as regras para a micro e

minigeração de energia elétrica a partir de fontes renováveis. Posteriormente, foram implementadas outras resoluções e regulamentações para incentivar e facilitar a expansão da geração distribuída no país.

No Gráfico 2 é apresentado o crescimento da carga instalada das usinas de fonte eólica e solar a partir do ano de 2015.

*Gráfico 2 – Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Sistema Interligado Nacional, período: janeiro 2015 – janeiro 2023*



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

A partir do gráfico 2 é notado o crescimento da capacidade da energia eólica, em valores numéricos a capacidade instalada em janeiro de 2015 era de 5.177 MW e em janeiro de 2023 era de 24.486 MW, um crescimento de 19.309 MW. A capacidade de energia solar em janeiro de 2015 era de 7 MW e em janeiro de 2023 era de 7.552 MW, um crescimento de 7.545 MW. É importante ressaltar que a energia solar só obteve um crescimento mais notável a partir de dezembro de 2017 e a partir daí não houve longas pausas no crescimento das usinas.

### 3.3 ProEólica

Durante a crise energética de 2001, o Brasil lançou o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) para incentivar a instalação de empreendimentos de geração eólica, visando a contratação de 1.050 MW de capacidade até dezembro de 2003. Este programa inicial não alcançou os resultados esperados e foi posteriormente substituído pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).

O PROINFA não apenas promoveu o desenvolvimento das fontes renováveis na matriz energética, mas também estimulou a indústria de componentes e turbinas eólicas no Brasil, estabelecendo requisitos de conteúdo nacional para os aerogeradores produzidos no âmbito do programa.

No final de 2009, o primeiro leilão de comercialização de energia exclusivamente eólica foi realizado, conhecido como Leilão de Energia de Reserva (LER). Esse leilão foi um marco, resultando na contratação de 1,8 GW de capacidade e abrindo caminho para uma série de leilões bem-sucedidos nos anos subsequentes.

Desde então, a energia eólica tem apresentado um crescimento robusto e consistente no Brasil particularmente na região Nordeste. Hoje, a energia eólica não é mais considerada uma alternativa, mas sim uma parte fundamental da matriz elétrica brasileira, sendo a segunda fonte mais importante, com mais de 10% de participação (ONS, 2024).

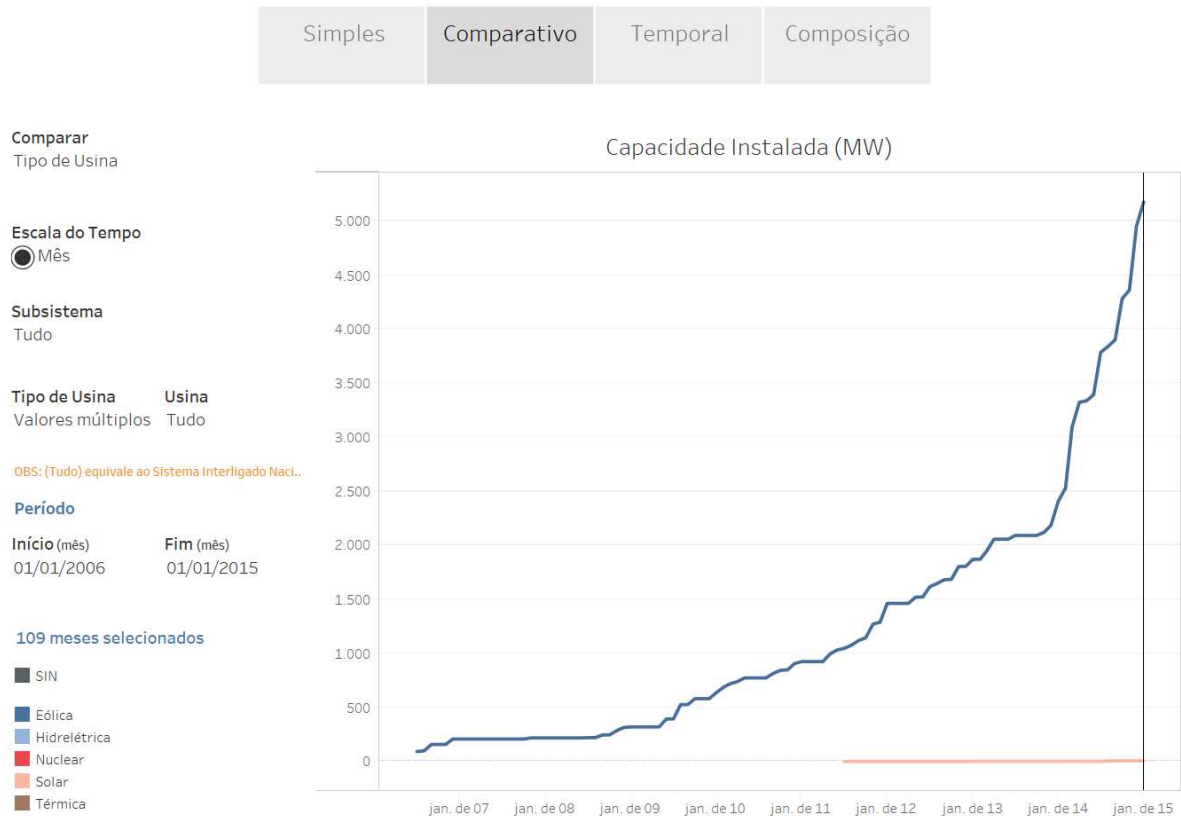
### 3.4 ProInfa

ProInfa, Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, é um programa do Governo Federal brasileiro instituído pela lei nº 10.438/2002 com o objetivo de incentivar a geração de energia elétrica por fontes renováveis. O programa foi criado para promover o desenvolvimento sustentável do setor energético no Brasil e diversificar a matriz energética do país.

O ProInfa foi concebido para estimular a produção de eletricidade a partir de fontes como biomassa (bagaço de cana-de-açúcar, resíduos agrícolas, etc.), pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e energia eólica. O programa oferecia incentivos financeiros, como tarifas atrativas para a compra da energia gerada por essas fontes, visando reduzir a dependência das usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis e aumentar a participação de fontes renováveis na matriz elétrica nacional.

No Gráfico 3 é apresentado o crescimento da carga instalada das usinas de fonte eólica e solar a partir do ano de 2006 até 2015. Através do site da ONS não foi possível obter dados anteriores a esse período.

*Gráfico 3 – Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Sistema Interligado Nacional, período: julho 2006 – janeiro 2015*



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

A capacidade instalada de usinas eólicas em julho de 2006 era de 92 MW e em janeiro de 2015 era de 5.177 MW, um crescimento de 5.085 MW. A capacidade de energia solar em julho de 2011 era de 1 MW e em janeiro de 2015 era de 7 MW, um crescimento de 6 MW. Com esses dados notamos que a energia solar é mais recente no Brasil e ainda está crescendo.

### 3.5 Submercado Nordeste

No Gráfico 4, é apresentado a capacidade instalada de geração de energia elétrica no Submercado Nordeste, revelando um notável crescimento das fontes de energia renovável

ao longo da última década. Destacam-se especialmente a energia solar e eólica, que emergiram como protagonistas nesse cenário de transição energética. O gráfico evidencia um aumento expressivo na participação dessas fontes limpas, refletindo o compromisso da região em direção a uma matriz mais sustentável e alinhada com as metas ambientais.

*Gráfico 4 – Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Nordeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023*

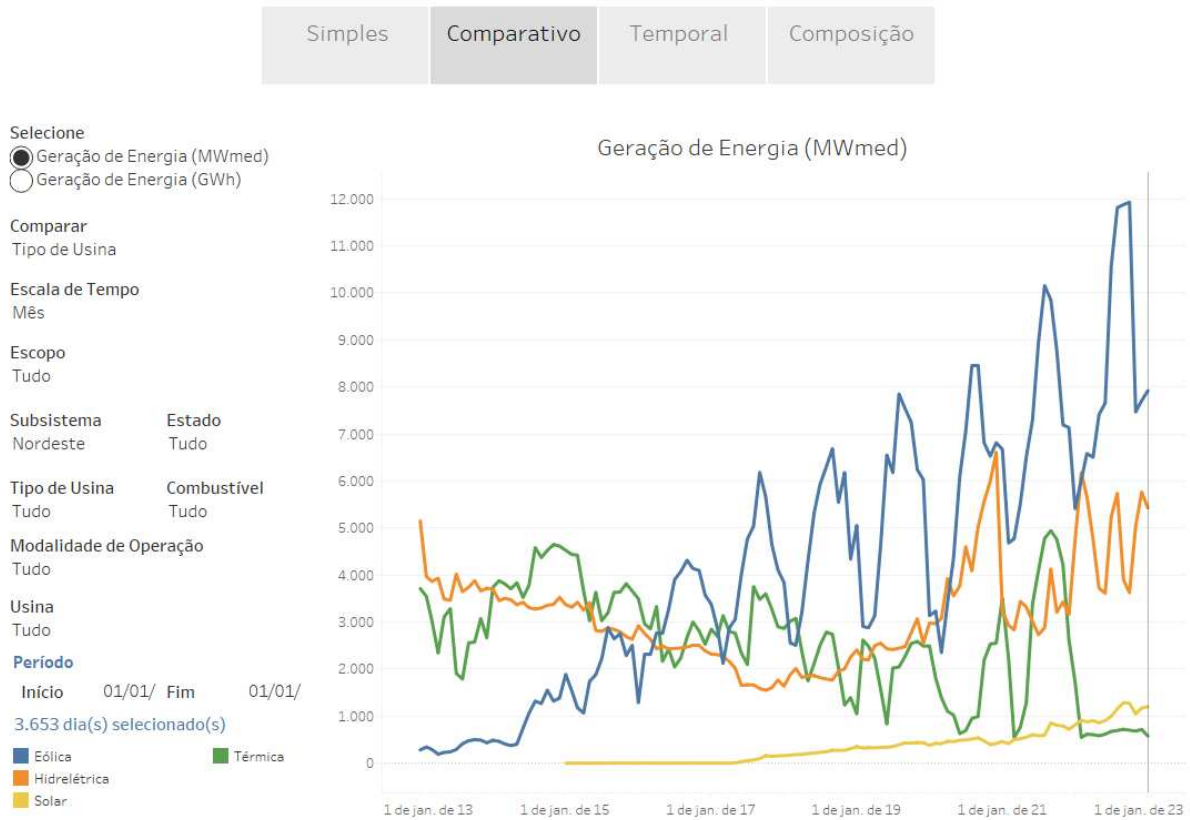


Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

No Gráfico 5 é mostrado a geração neste período, afirmando a participação da energia eólica, porém, não demonstra uma grande participação da energia solar.



Gráfico 5 – Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Nordeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

A Tabela 1 oferece uma visão objetiva desse desenvolvimento, ressaltando valores comparativos de capacidade instalada no início e no final do período estudado, os valores mostram a significativa evolução das energias renováveis no Nordeste, com ênfase na eólica. Esses números indicam não apenas uma mudança na matriz energética, mas também a consolidação da diversidade de fontes limpas e eficientes, contribuindo para a construção de um futuro energético mais sustentável na região.

Tabela 1 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Nordeste

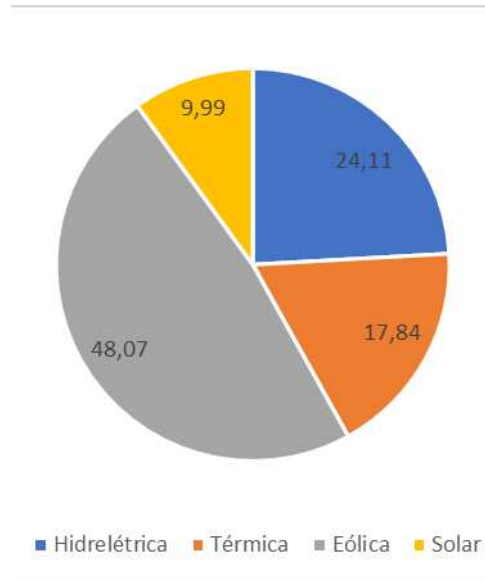
Tipo de Usina	Carga Instalada (MW)		Crescimento (MW)
	jan. 2013	jan. 2023	
Hidrelétrica	11.012	11.036	24
Térmica	5.671	8.167	2.496
Eólica	1.190	22.006	20.816
Solar	1	4.574	4.573
Nuclear	0	0	0

<b>Total</b>	17.874	45.783	27.909
--------------	--------	--------	--------

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

Para uma melhor noção da matriz do Submercado Nordeste é apresentado no Gráfico 6 a sua formação por tipo de usina.

Gráfico 6 – Composição da Matriz elétrica do Submercado Nordeste, período: janeiro 2023

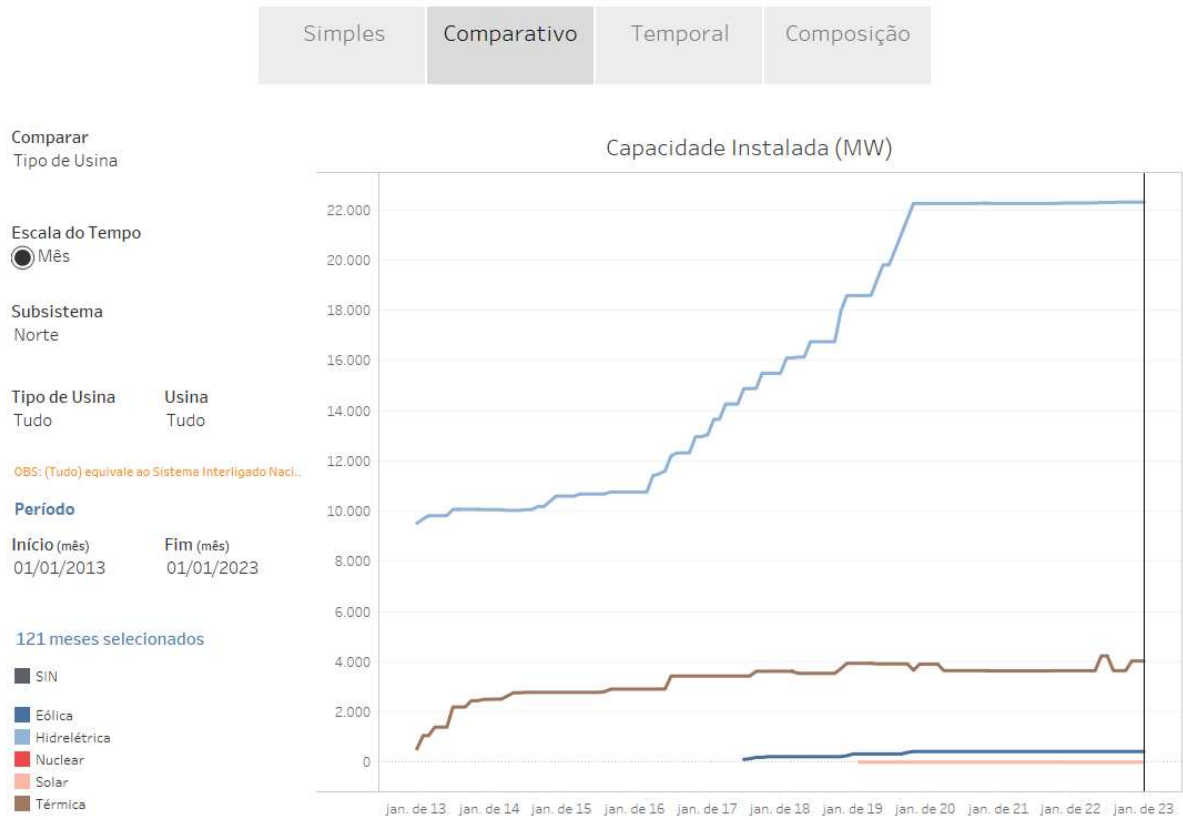


Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

### 3.6 Submercado Norte

O Gráfico 7 apresenta a capacidade instalada das usinas do Submercado Norte no período estudado, é evidente um desenvolvimento alto em termos de energias renováveis, porém, focando apenas nas hidrelétricas, tendo pouco aumento na eólica e solar, especialmente se comparado com o Submercado Nordeste. No entanto, é crucial contextualizar essa discrepância considerando a diferença significativa nas capacidades instaladas entre as duas regiões ao comparar as tabelas 1 e 2. O Nordeste apresenta quase o dobro da capacidade instalada em relação ao Norte, o que impacta diretamente na proporção de fontes renováveis.

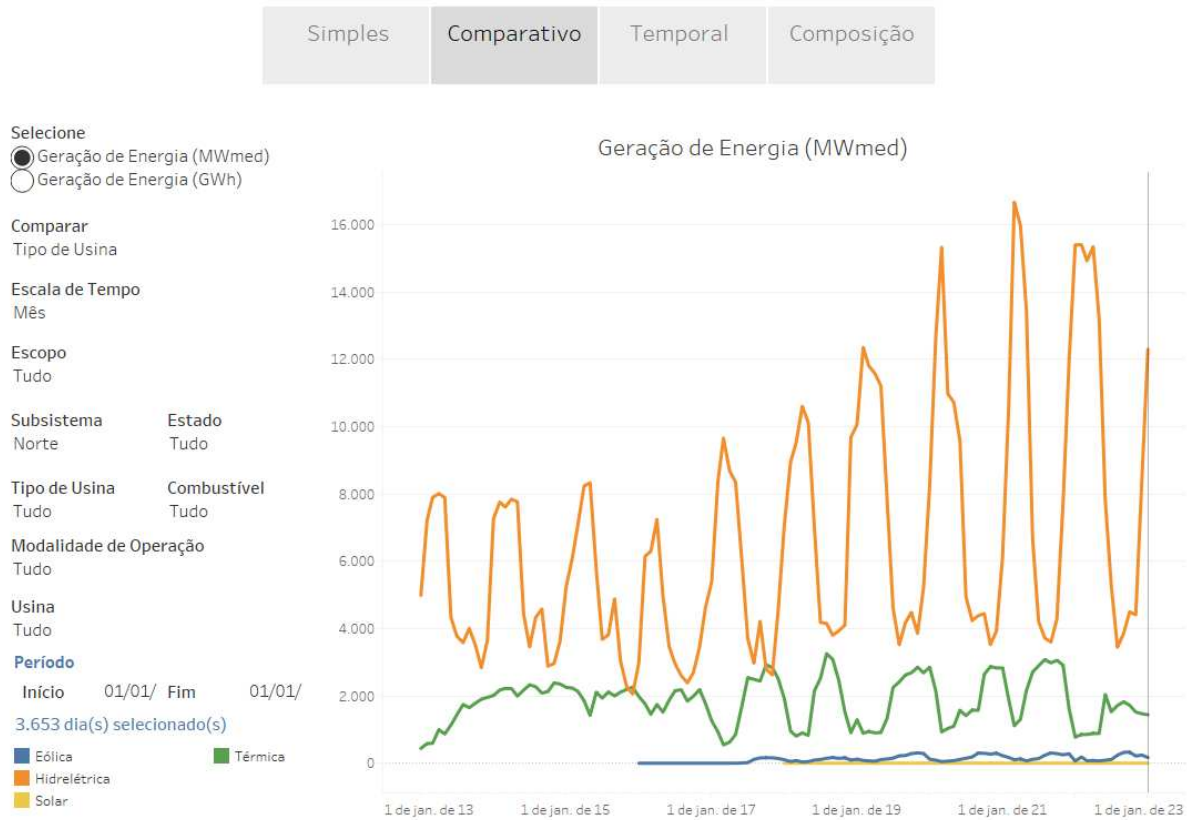
Gráfico 7 – Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Norte, período: janeiro 2013 – janeiro 2023



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

No Gráfico 8 é possível acompanhar a participação de cada tipo de usina na geração de energia elétrica.

Gráfico 8 – Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Norte, período: janeiro 2013 – janeiro 2023



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

Na Tabela 2, é possível acompanhar a capacidade instalada em MegaWatts, e o crescimento de janeiro de 2013 à janeiro de 2023 do Submercado Norte. É relevante destacar que o Submercado Norte registrou um crescimento notável da capacidade instalada nas usinas térmicas de 3.500 MW. Essa variação sugere uma dinâmica específica no Norte, possivelmente influenciada por fatores locais, econômicos ou estratégias de diversificação da matriz energética. Portanto, uma análise abrangente deve levar em consideração não apenas a participação das energias renováveis, mas também a potência total e as particularidades de cada submercado.

Tabela 2 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Norte

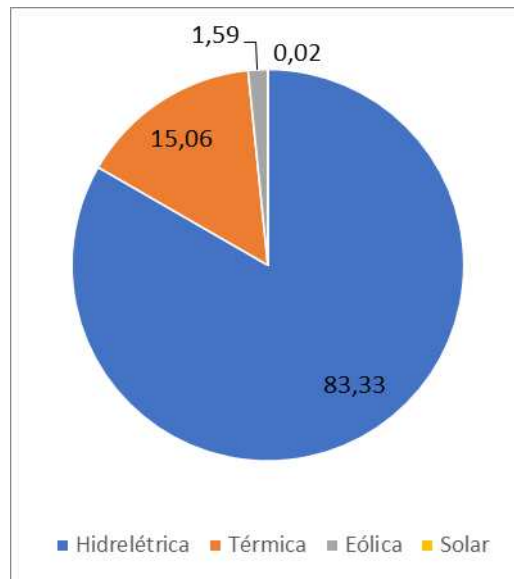
Tipo de Usina	Carga Instalada (MW)		Crescimento (MW)
	jan. 2013	jan. 2023	
Hidrelétrica	9.519	22.305	12.786
Térmica	531	4.031	3.500
Eólica	0	426	426

<b>Solar</b>	0	5	5
<b>Nuclear</b>	0	0	0
<b>Total</b>	10.050	26.767	16.717

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

Para uma melhor noção da matriz do Submercado Norte é apresentado no Gráfico 9 a sua formação por tipo de usina.

*Gráfico 9 – Composição da Matriz elétrica do Submercado Norte, período: janeiro 2023*

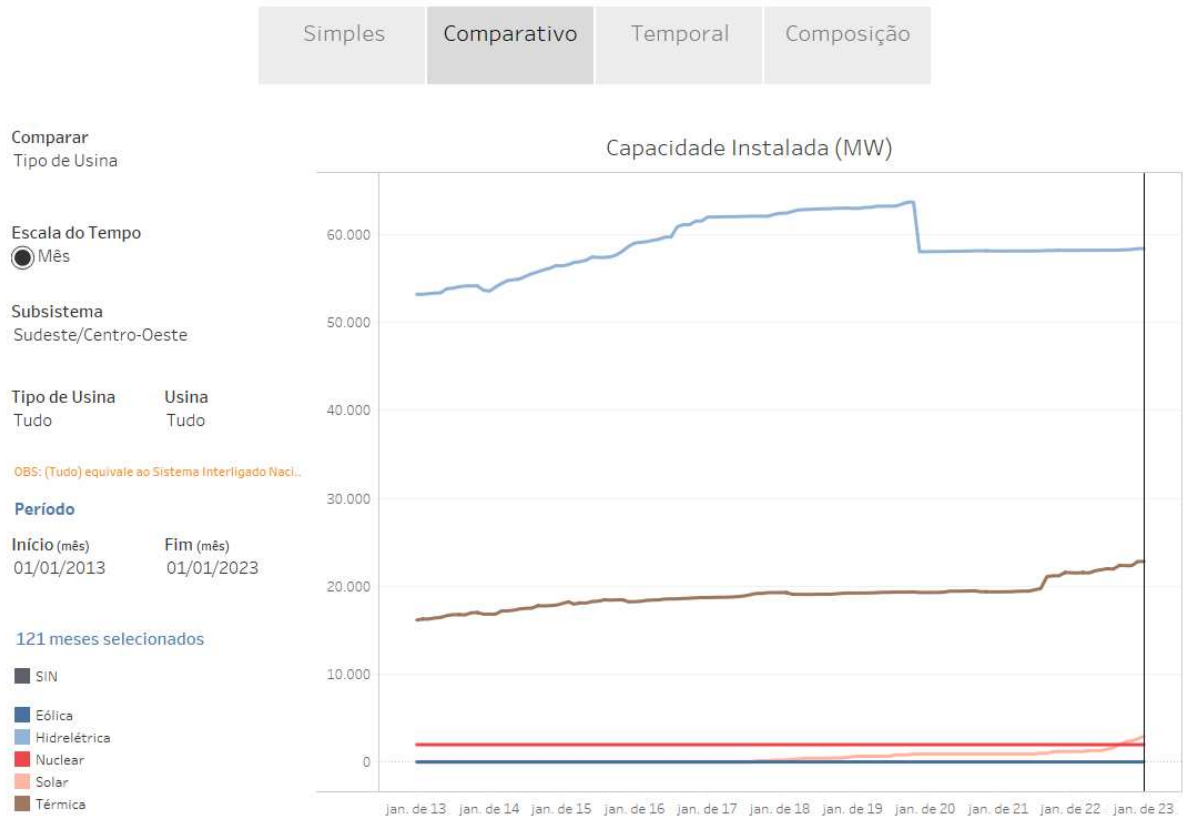


Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

### **3.7 Submercado Sudeste/Centro-Oeste**

No Gráfico 10 é mostrado a capacidade instalada de geração do Submercado Sudeste/Centro-Oeste, destacando como a região com a maior carga instalada, praticamente dobrando a potência do Nordeste.

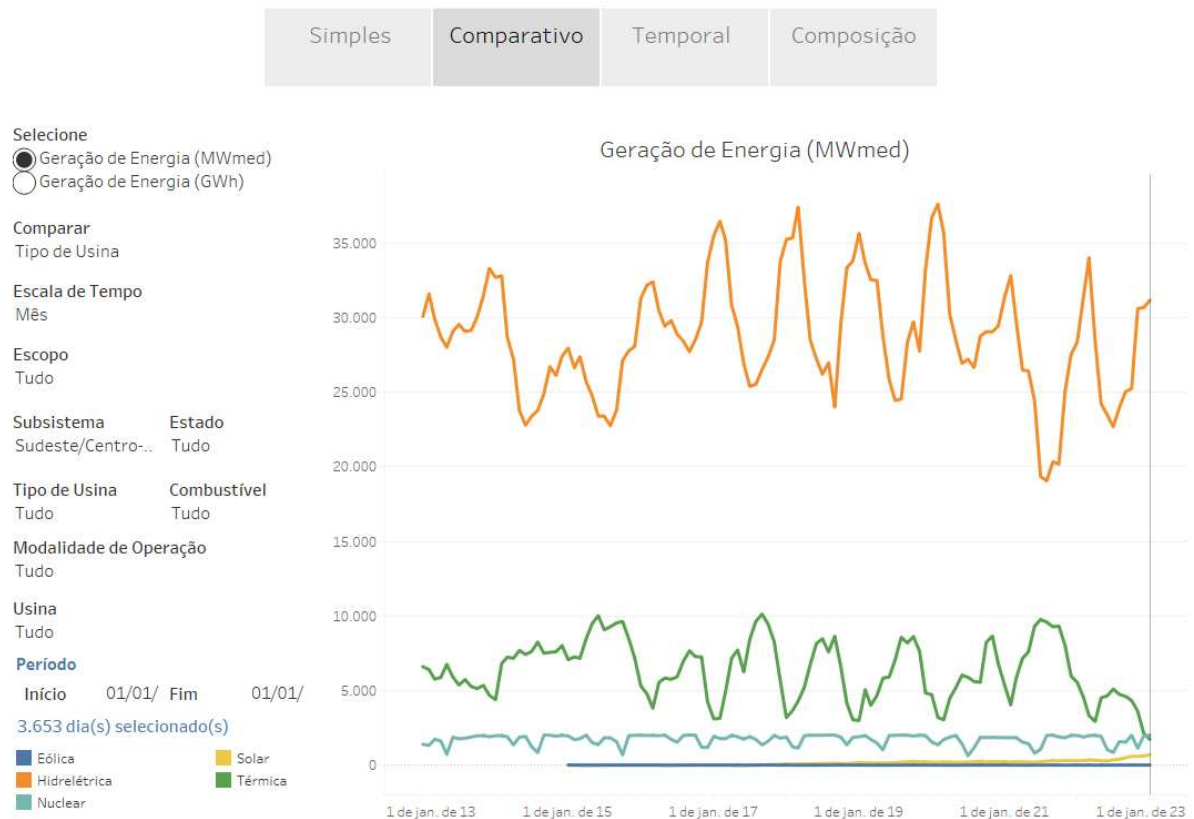
Gráfico 10 – Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Sudeste/Centro-Oeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

No Gráfico 11 é mostrado a geração de cada tipo de usina, evidenciando suas participações na matriz elétrica. A geração hidrelétrica mantém sua supremacia na região, com um alto crescimento contínuo e reforçando a importância das fontes hidráulicas na matriz elétrica do Sudeste/Centro-Oeste, e ainda contando com a participação de energia nuclear, eólica e solar.

Gráfico 11 – Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Sudeste/Centro-Oeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

Na Tabela 3, é apresentado de forma objetiva a evolução da carga instalada por tipo de usina e a composição de cada uma na matriz do submercado. Um marco significativo nessa região foi a introdução da geração solar, que atingiu uma potência de quase 3.000 MW, representando um avanço expressivo na incorporação de fontes renováveis e diversificação na matriz elétrica. Contudo, é interessante notar que o crescimento mais notável recaiu nas usinas térmicas, que adicionaram 6.650 MW à capacidade instalada e, sua geração que complementa a hidráulica em períodos de baixa nos reservatórios. Este incremento substancial em energia térmica pode ser resultado de estratégias de diversificação da matriz energética, garantindo maior segurança e flexibilidade operacional.

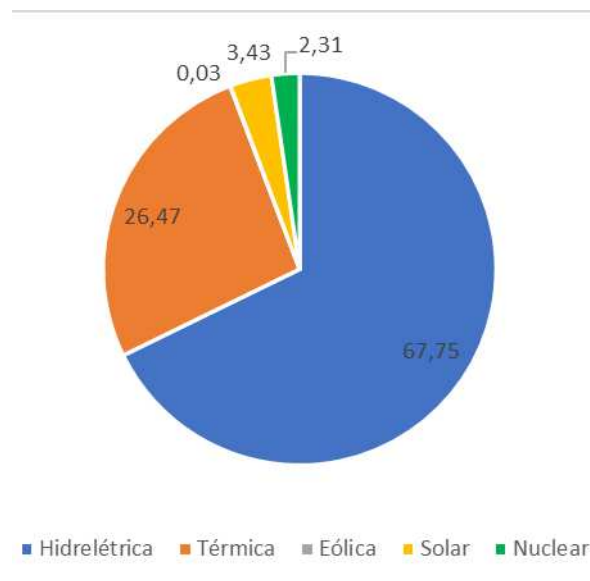
*Tabela 3 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Sudeste/Centro-Oeste*

Tipo de Usina	Carga Instalada (MW)		Crescimento (MW)
	jan. 2013	jan. 2023	
<b>Hidrelétrica</b>	53.196	58.397	5.201
<b>Térmica</b>	16.166	22.816	6.650
<b>Eólica</b>	28	28	0
<b>Solar</b>	1	2.958	2.957
<b>Nuclear</b>	1.990	1.990	0
<b>Total</b>	71.381	86.189	14.808

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

Para uma melhor noção da matriz do Submercado Sudeste/Centro-Oeste é apresentado no Gráfico 12 a sua formação por tipo de usina.

*Gráfico 12 – Composição da Matriz elétrica do Submercado Sudeste/Centro-Oeste, período: janeiro 2023*



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

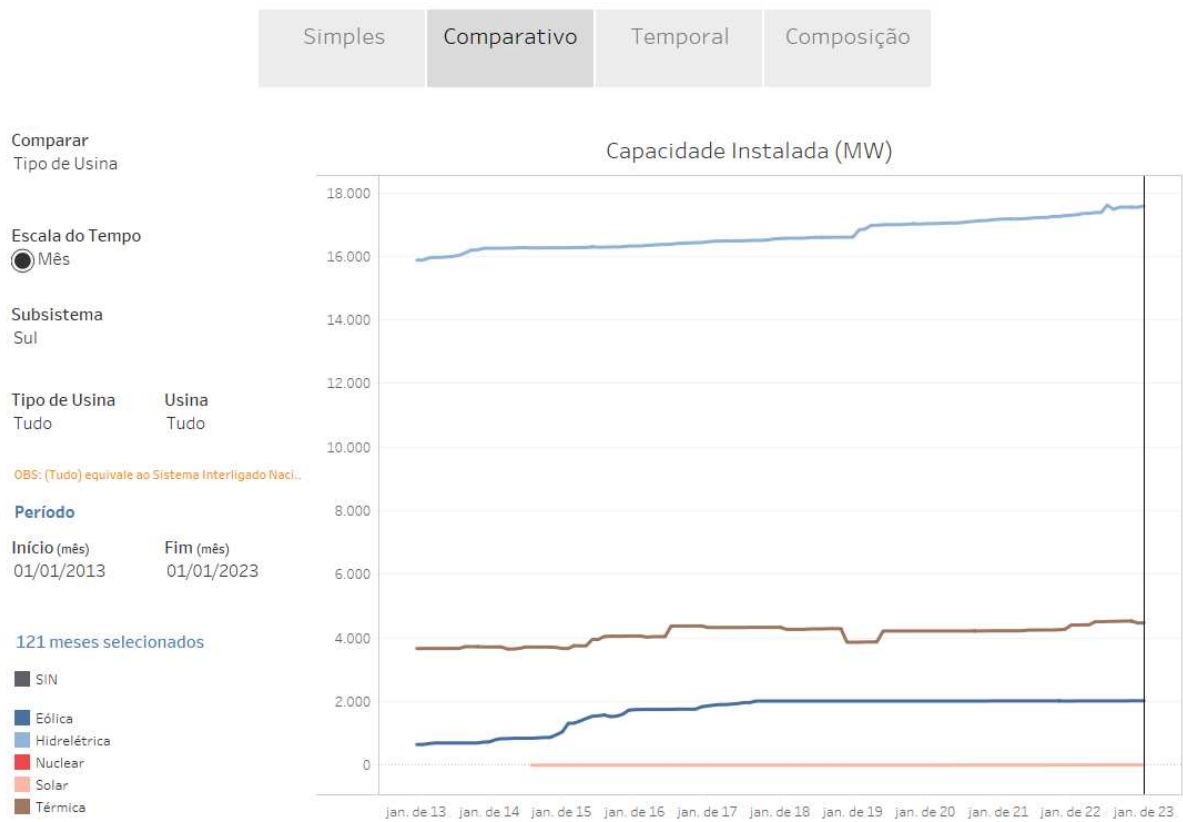
### **3.8 Submercado Sul**

No Submercado Sul, embora as usinas hidrelétricas ainda detenham a maior parte da carga instalada, a última década testemunhou um notável destaque no desenvolvimento das usinas eólicas, no Gráfico 13 é apresentado a capacidade instalada por tipo de usina nesse



submercado. Esse fenômeno sinaliza uma significativa diversificação na matriz energética da região, indicando uma mudança na estratégia de geração de energia. A ascensão das usinas eólicas sugere um crescente reconhecimento da viabilidade e eficácia de outras fontes renováveis no Sul, não apenas a hidrelétrica, possivelmente motivado por fatores ambientais, econômicos ou políticos.

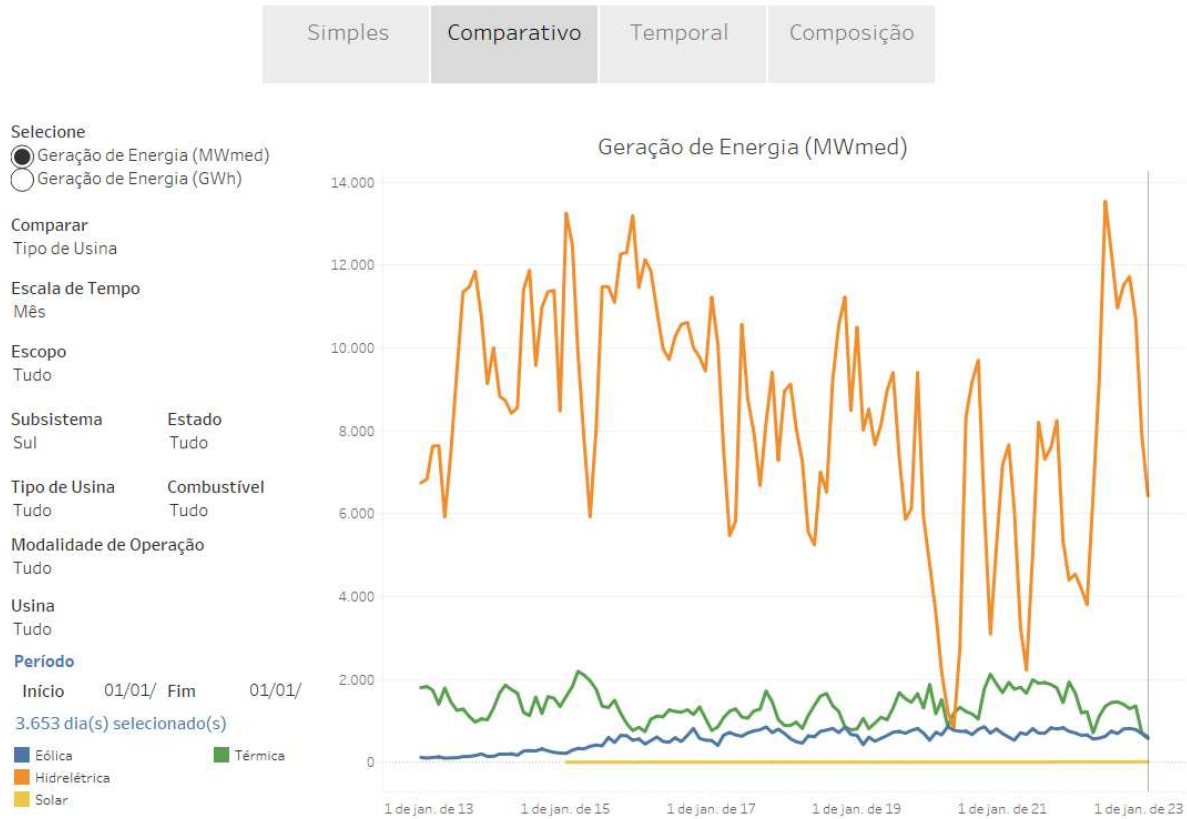
*Gráfico 13 – Capacidade instalada de Geração por tipo de usina, no Submercado Sul, período: janeiro 2013 – janeiro 2023*



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

No Gráfico 14 é apresentada a participação de cada tipo de usina na geração de energia elétrica.

Gráfico 14 – Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Submercado Sul, período: janeiro 2013 – janeiro 2023



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

Na Tabela 4 é observado a presença crescente de energia eólica, que contribui não apenas para a redução da dependência de fontes convencionais, como também para a mitigação dos impactos ambientais, consolidando o Sul como uma região promissora para o desenvolvimento sustentável da geração de energia elétrica.

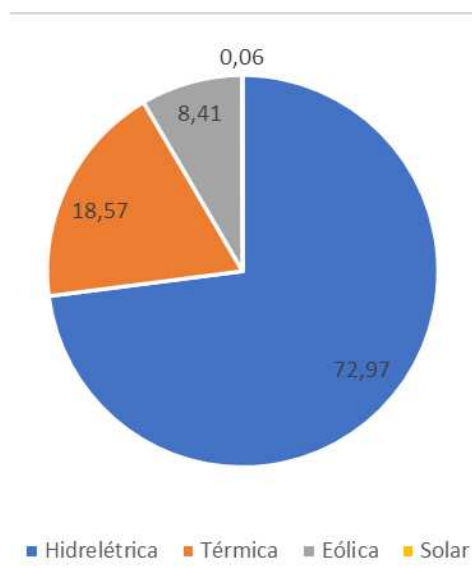
Tabela 4 – Capacidade Instalada dos diversos tipos de usinas do Submercado Sul

Tipo de Usina	Carga Instalada (MW)		Crescimento (MW)
	jan. 2013	jan. 2023	
<b>Hidrelétrica</b>	15.881	17.580	1.699
<b>Térmica</b>	3.669	4.473	804
<b>Eólica</b>	653	2.026	1.373
<b>Solar</b>	0	14	14
<b>Nuclear</b>	0	0	0
<b>Total</b>	20.203	24.093	3.890

Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

Para uma melhor noção da matriz do Submercado Sul é apresentado no Gráfico 15 a sua formação por tipo de usina.

*Gráfico 15 – Composição da Matriz elétrica do Submercado Sul, período: janeiro 2023*



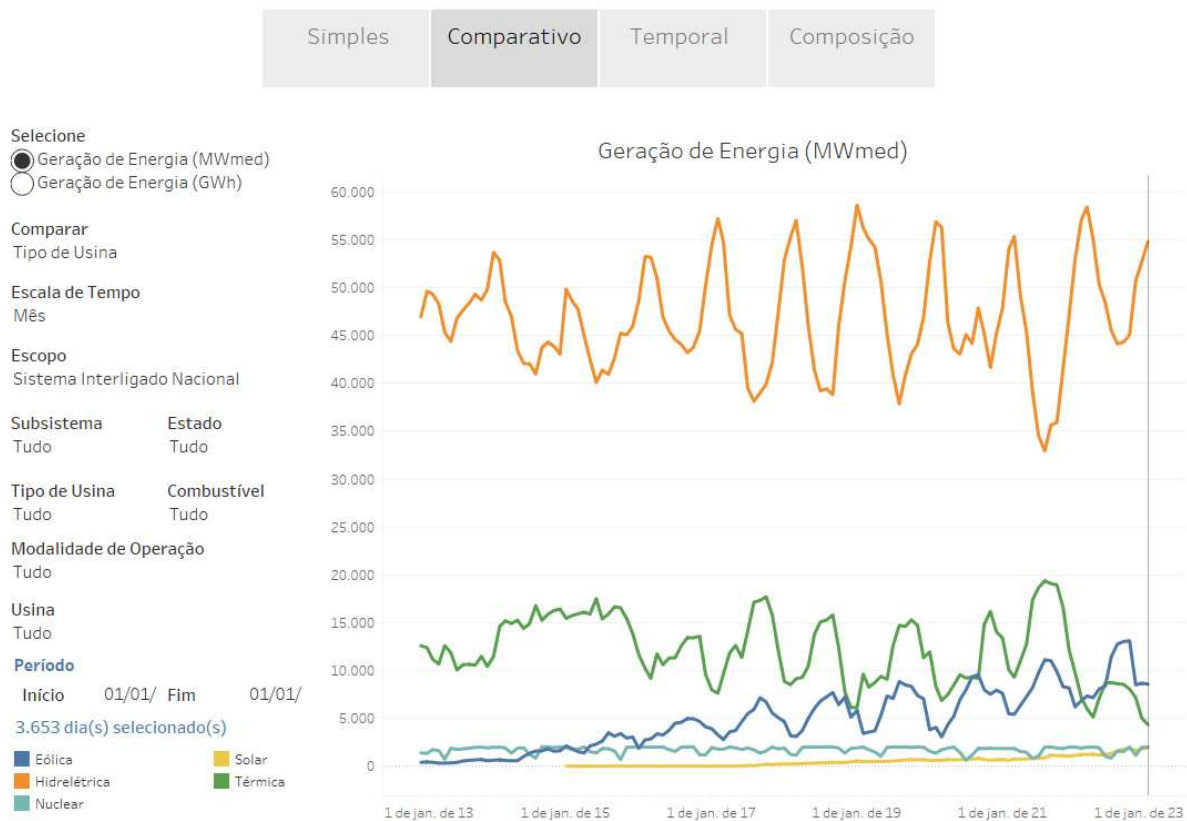
*Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).*

#### 4 HISTÓRICO DO PREÇO DA LIQUIDAÇÃO DAS DIFERENÇAS (PLD)

O Preço de Liquidação das Diferenças (PDL) é o valor determinado para calcular a diferença entre a energia gerada ou contratada e o total efetivamente consumido pelo mercado (PANORAMA, 2024). A CCEE determina PLD diariamente para cada hora do dia seguinte, com base no Custo Marginal de Operação (CMO). Na apuração, são levados em conta os limites máximos (horários e estruturais) e mínimos vigentes para cada período e submercado.

Com base no histórico do PLD pode-se relacionar o preço da energia com a geração. No Gráfico 16 é apresentado de forma comparativa, por tipo de usina, a geração de energia elétrica do Sistema Interligado Nacional (SIN), e nos gráficos 17 a 20 são apresentados a média mensal em reais por Mega Watt hora dos quatro submercados do país.

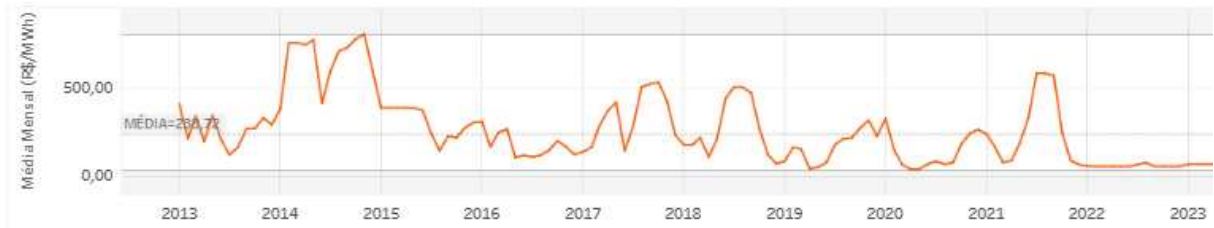
*Gráfico 16 – Geração de Energia Elétrica por tipo de usina, no Sistema Interligado Nacional (SIN), período: janeiro 2013 – janeiro 2023*



Fonte: Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS, 2024).

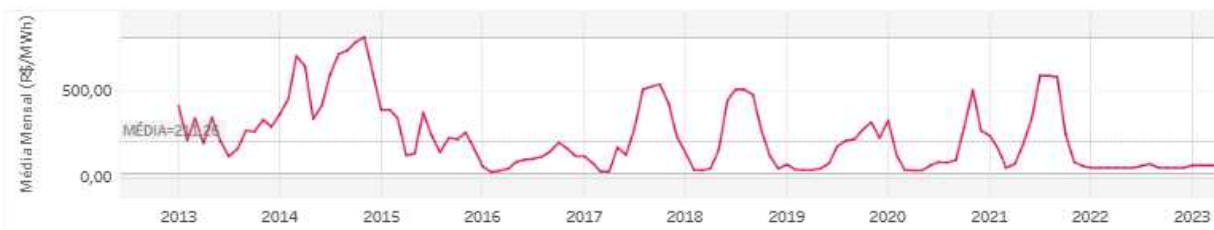
Nos gráficos abaixo é notável que há pouca variação no PLD entre os submercados, eles tendem a crescer e decrescer de forma semelhante. Um dos pontos mais chamativos é que o preço começou a subir em março de 2021 e ficou acima de 500,00 R\$/MWh em todos os submercados no período de julho a setembro de 2021. De acordo com uma notícia do jornal O GLOBO houve uma crise hídrica que evidenciou a dependência das hidrelétricas e a necessidade de diversificar. Essa afirmação é evidenciada no Gráfico 16 em que a geração hidrelétrica se sobressai e em momentos de queda, como em março de 2021 que gerou 55.333 MWmed e caiu até 32.961 MWmed em agosto de 2021 e recebeu suporte das termelétricas com um crescimento de geração no mesmo período de 9.296 MWmed a 19.371 MWmed. De acordo com O SEMANÁRIO, o combustível utilizado nas termelétricas do Brasil causa o encarecimento da energia, por isso em períodos de estiagem que há necessidade da utilização de termelétricas ocorre um impacto financeiro até no consumidor final.

*Gráfico 17 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Nordeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023*



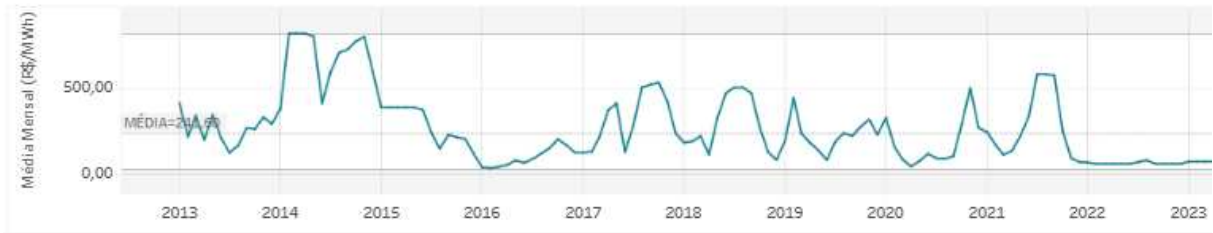
Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2024).

*Gráfico 18 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Norte, período: janeiro 2013 – janeiro 2023*



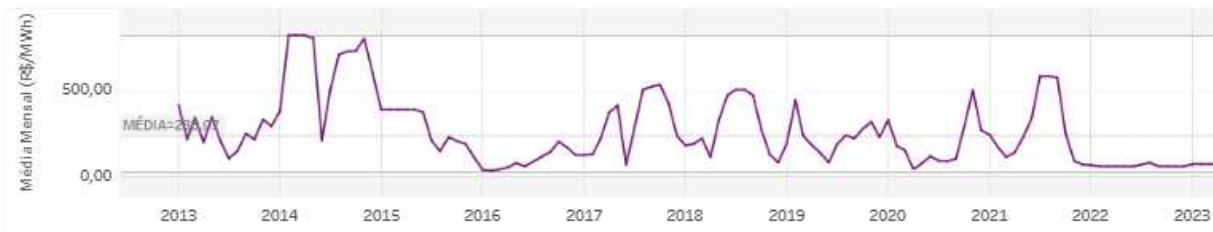
Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2024).

*Gráfico 19 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Sudeste/Centro Oeste, período: janeiro 2013 – janeiro 2023*



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2024).

*Gráfico 20 – Histórico Mensal do PLD em R\$/MWh, no Submercado Sul, período: janeiro 2013 – janeiro 2023*



Fonte: Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE, 2024).

A partir de setembro de 2021 a geração das hidrelétricas voltou a subir, a geração de termelétricas caiu, e com isso o PLD dos submercados caiu e se manteve baixo, em torno de 60,00 R\$/MWh até janeiro de 2023.

Em relação ao crescimento das usinas eólicas, como visto no Gráfico 4, foi muito relevante para o submercado Nordeste, mas se tratando do SIN, ainda não tem uma relevância significativa para se equiparar as hidrelétricas, portanto, vendo como um todo ainda falta diversificação na matriz para impactar no custo da energia, uma vez que, as energias solar e eólica possuem fontes gratuitas e de grande potencial no Brasil.

## 5 CONCLUSÃO

A matriz elétrica nacional é formada por usinas hidrelétricas, térmicas, nucleares, eólicas e solares. Observando o cenário em um período de 10 anos, conforme exibido no Gráfico 1, é evidente a predominância da hidrelétrica como principal fonte de geração de energia elétrica no país e, no mesmo gráfico é notado uma pequena redução dessa discrepância com o crescimento das usinas térmicas, das usinas eólicas e uma nova participação das usinas solares, ainda com margem de crescimento ao verificar a matriz como um todo.

Ao longo deste estudo, foi possível realizar uma análise comparativa das matrizes elétricas nas sub-regiões da CCEE. A metodologia adotada envolveu a coleta e análise de dados referentes à capacidade instalada, a geração e o custo de energia elétrica, com foco nas fontes utilizadas em cada sub-região, esses dados foram obtidos principalmente por fontes oficiais do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) e da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

No Nordeste houve um grande aumento das usinas de energia renovável, eólica e solar, particularmente da eólica que de acordo com a Tabela 1 possuía uma capacidade instalada em janeiro de 2023 de 22.006 MW, ultrapassando a capacidade instalada das hidrelétricas de 11.036 MW, mantendo assim eólica e hidrelétrica como principais fontes renováveis de geração de energia elétrica na região.

Nos Submercados Norte, Sudeste/Centro Oeste e Sul a capacidade instalada das hidrelétricas cresceu em 10 anos. Outras fontes renováveis como eólica e solar tiveram um aumento que resulta em uma boa diversificação da matriz, mas não tão significativo quanto o Nordeste. Desta forma, essas regiões mantêm um sistema de hidrelétrica com apoio de térmicas em períodos de estiagem.

Em relação ao custo, é observado nos gráficos 17 a 20 que a curva Média Mensal (R\$/MWh) por tempo (Meses) tem o mesmo formato para os quatro submercados da CCEE tendo mínimas variações entre eles. Nesse caso, considera-se a variação do custo como um todo e, como visto no Capítulo 4, crises na geração hidrelétrica afetam diretamente no PLD, devido a matriz nacional ser ainda muito dependente deste tipo de usina. Isso mostra que ainda falta diversificação, que pode ser melhorada com o crescimento das energias eólica e solar.

Os resultados obtidos demonstraram uma evolução significativa na variedade das fontes de geração de energia elétrica, com um aumento expressivo na participação de fontes

renováveis, como a energia eólica e solar, em detrimento das fontes tradicionais, como a hidrelétrica e termelétrica, mas que ainda falta desenvolvimento para precaver crises financeiras provindas de falta de recursos hídricos. Essa diversificação com fontes mais limpas e sustentáveis é um reflexo das políticas públicas e dos avanços tecnológicos no setor energético.

Diante disso, as conclusões deste estudo apontam para a importância de continuar investindo em fontes de energia renovável, visando a redução das emissões de gases de efeito estufa e a garantia de um suprimento energético mais seguro, sustentável e diversificado para o país, uma vez que o Brasil é referência mundial em potencial de energia renovável. Além disso, ressalta-se a necessidade de políticas públicas que incentivem a expansão das energias limpas e promovam a eficiência energética em todos os setores da sociedade. Nesse sentido, é perceptível tal necessidade ao abordar o ProGD, que incentiva a geração descentralizada e melhora a eficiência da transmissão, o que sugere a ampliação e desenvolvimento da diversificação de estudos e projetos baseados neste trabalho.

Por fim, este trabalho contribui para o entendimento da evolução das matrizes elétricas nas sub-regiões da CCEE e destaca a importância de uma transição energética rumo a um modelo mais sustentável e resiliente. Espera-se que as informações e análises apresentadas aqui possam subsidiar pesquisas futuras, por exemplo, estudos focando em questões geográficas e políticas para compreender melhor e de forma numérica o motivo dos Submercados Norte, Sudeste/Centro-Oeste e Sul não desenvolverem as usinas eólicas e solares como o Submercado Nordeste. Os dados apresentados também podem fomentar estudos financeiros mais específicos baseados na relação entre os tipos de geração de energia e como podem impactar o custo final de energia elétrica.



## REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Divisão Hidrográfica Nacional**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3ª Edição**. 2008. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012**. 2012. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/atren2012482.pdf>. Acesso em: 29 abril. 2024.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Resolução Normativa N° 875, de 10 de março de 2020**. 2020. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-normativa-n-875-de-10-de-marco-de-2020-248070610>. Acesso em: 12 jan. 2024.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Processamento de Gás Natural**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural/processamento-de-gas-natural>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Produção de derivados de petróleo e processamento de gás natural**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natural>. Acesso em: 16 ago. 2024.
- Ambiente Brasil. **Carvão – Principais Gases**. 2021. Disponível em: [https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/carvao/carvao\\_-\\_principais\\_gases.html](https://ambientes.ambientebrasil.com.br/energia/carvao/carvao_-_principais_gases.html). Acesso em: 16 ago. 2024.
- Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEEólica). **Desenvolvimento da eólica no Brasil**. 2024. Disponível em: <https://abeeolica.org.br/energia-eolica/o-setor/#:~:text=Durante%20a%20crise%20energética%20de,eólica%20até%20dezembro%20de%202003>. Acesso em: 02 maio. 2024.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2017. Disponível em: [http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas\\_Brasileiro\\_Energia\\_Solar\\_2a\\_Edicao\\_rev-01-compactado.pdf](http://mtc-m21b.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.15.18.20/doc/Atlas_Brasileiro_Energia_Solar_2a_Edicao_rev-01-compactado.pdf). Acesso em: 15 jan. 2024.
- Cabeólica. **Transporte de Energia**. 2024. Disponível em: <https://cabeolica.com/transporte-de-energia/>. Acesso em: 13 jan. 2024.
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). **Painel de Preços**. 2024. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/precos/painel-precos>. Acesso em: 26 ago. 2024.
- Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). **ProInfa**. 2024. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/mercado/proinfa>. Acesso em: 29 abril. 2024.

Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE). **Sobre nós**. 2024. Disponível em: <https://www.ccee.org.br/sobrenos>. Acesso em: 22 set. 2024.

Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). **A Geração Termoeétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil**. 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar/termoeletrica-com-a-queima-do-bagaco-de-cana-de-acucar-no-brasil-safra-2009-2010.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2024.

Companhia Pernambucana de Gás (COPERGAS). **Entenda o que é Geração a Gás Natural**. 2024. Disponível em: <https://novo.copergas.com.br/gas-natural/geracao/>. Acesso em: 16 ago. 2024.

Delta Energia. **O Papel das termelétricas na matriz energética brasileira**. 2024. Disponível em: <https://deltaenergia.com.br/blog/artigo/o-papel-das-termoeletricas-na-matriz-energetica-brasileira>. Acesso em: 12 jan. 2024.

Eletrobras. **ProInfra**. 2024. Disponível em: <https://eletrobras.com/en/Paginas/Proinfra.aspx>. Acesso em: 29 abril. 2024.

Enel Green Power. **Usina Hidrelétrica**. 2024. Disponível em: <https://www.enelgreenpower.com/pt/learning-hub/energias-renoveveis/energia-hidraulica/usina-hidreletrica>. Acesso em: 12 jan. 2024.

Embrapa. **Biogás**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas>. Acesso em: 16 ago. 2024.

Embrapa. **Carvão**. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/florestal/carvao>. Acesso em: 16 ago. 2024.

Iberdrola. **Energia Eólica**. 2024. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/sustentabilidade/energia-eolica>. Acesso em: 13 jan. 2024.

Indústrias Nucleares do Brasil (INB). **Como é o processo de geração de energia elétrica por uma usina nuclear**. 2024. Disponível em: <https://www.inb.gov.br/Contato/Perguntas-Frequentes/Pergunta/Conteudo/como-e-o-processo-de-geracao-de-energia-eletrica-por-fonte-nuclear?Origem=1068>. Acesso em: 13 jan. 2024.

Indústrias Nucleares do Brasil (INB). **Recursos**. 2024. Disponível em: <https://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Urânio/Recursos>. Acesso em: 13 jan. 2024.

Invenergy. **Harnessing the power of high offshore wind speeds**. 2023. Disponível em: <https://invenergy.com/clean-energy/offshore-wind>. Acesso em: 13 jan. 2024.

Lactec. **Energia renovável no Brasil: Conheça o cenário atual**. 2022. Disponível em: <https://lactec.com.br/energia-renovavel-no-brasil/#:~:text=Potencial%20de%20energia%20renov%C3%A1vel%20no,de%20irradia%C3%A7%C3%A3o%20solar%20por%20ano>. Acesso em: 12 jan. 2024.

Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTI). **Acordo de Paris**. 2024. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo\\_paris.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/acordo-de-paris-e-ndc/arquivos/pdf/acordo_paris.pdf). Acesso em: 29 abril. 2024.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Biomassa quebra recorde de geração de energia em 2023**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/biomassa-quebra-recorde-de-geracao-de-energia-em-2023>. Acesso em: 05 ago. 2024.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Micro e Minigeração Distribuída**. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/aneel/pt-br/assuntos/geracao-distribuida>. Acesso em: 29 abril. 2024.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD**. 2020. Disponível em: <https://antigo.mme.gov.br/documents/20182/6dac9bf7-78c7-ff43-1f03-8a7322476a08>. Acesso em: 04 set. 2024.

Ministério das Relações Exteriores (MRE). **Recursos Hídricos**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mre/pt-br/assuntos/desenvolvimento-sustentavel-e-meio-ambiente/meio-ambiente-e-mudanca-do-clima/recursos-hidricos>. Acesso em: 13 jan. 2024.

NeoSolar. **Sistemas de Energia Solar Fotovoltaica e Seus Componentes**. 2024. Disponível em: <https://www.neosolar.com.br/aprenda/saiba-mais/sistemas-de-energia-solar-fotovoltaica-e-seus-componentes>. Acesso em: 14 jan. 2024.

O Globo. 2022. **Crise hídrica evidenciou dependência de hidrelétricas no Brasil: diversificar é fundamental**. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/um-so-planeta/noticia/2022/05/crise-hidrica-evidenciou-dependencia-de-hidreletricas-no-brasil-diversificar-e-fundamental.ghtml>. Acesso em: 26 ago. 2024.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). 2024. **Capacidade Instalada de Geração**. Disponível em: [https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade\\_instalada.aspx](https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/capacidade_instalada.aspx). Acesso em: 12 jan. 2024.

Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). 2020. **Plano de Operação Energética (PEN)**. Disponível em: [https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/ONS\\_PEN2020\\_24\\_final%20\(6\).pdf](https://www.ons.org.br/AcervoDigitalDocumentosEPublicacoes/ONS_PEN2020_24_final%20(6).pdf). Acesso em: 22 set. 2024.

O Semanário. 2024. **Descubra porque a energia termelétrica é tão cara no Brasil**. Disponível em: <https://www.jornalosemanario.com.br/descubra-porque-a-energia-termeletrica-e-tao-cara-no-brasil/>. Acesso em: 26 ago. 2024.

Panorama. 2024. **PLD: Entenda tudo sobre o Preço de Liquidação das Diferenças**. Disponível em: <https://www.comerc.com.br/panorama/pld-entenda-tudo-sobre-o-pre%C3%A7o-de-liquida%C3%A7%C3%A3o-das-diferen%C3%A7as>. Acesso em: 28 ago. 2024.

Portal Solar. 2024. **Energia Heliotérmica (termo solar)**. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/energia-heliotermica-entenda-como-funciona>. Acesso em: 14 jan. 2024.

Raízen. 2022. **Energia a partir da biomassa: entenda o que é e para que serve!**. Disponível em: <https://www.raizen.com.br/blog/energia-biomassa>. Acesso em: 05 ago. 2024.

Empresa de Pesquisa Energética (EPE). 2024. **Webmap EPE**. Disponível em: <https://gisepeprd2.epe.gov.br/WebMapEPE/>. Acesso em: 22 set. 2024.

*World Nuclear Association* (WNA). **Supply of Uranium**. 2023. Disponível em: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>. Acesso em: 13 jan. 2024.