

ANÁLISE DA GERAÇÃO DE USINAS TERMELÉTRICAS NO BRASIL POR TIPO DE COMBUSTÍVEL

Gustavo Manfredini Cerqueira¹, Isadora dos Santos Pires Soares¹, Gabrielli Viana Magalhães¹, Naiara Lima Costa¹

¹Universidade Estadual Paulista - UNESP, Faculdade de Engenharia e Ciências - FEC,
Rosana-SP, Brasil (gustavo.cerqueira@unesp.br)

Resumo: O presente trabalho analisa os dados abertos da ANEEL para comparar a evolução de fontes renováveis e fontes fósseis empregadas nas termelétricas brasileiras. A partir de indicadores como geração e quantidade de usinas, busca-se identificar padrões da matriz elétrica. A análise contribui para compreender a transição energética, destacando eficiência, sustentabilidade e desafios associados à diversificação da matriz energética nacional.

Palavras-chave: Energia térmica; matriz elétrica; biomassa; combustíveis fósseis.

INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, a energia elétrica tem se tornado cada vez mais requisitada e componente essencial na configuração do mundo atual (PAL; RATHOURE, 2025). Sua geração pode ser realizada de diferentes formas, tanto utilizando fontes renováveis, que são praticamente inesgotáveis, como a biomassa, quanto fontes não renováveis, que possuem materiais esgotáveis, como, por exemplo, o carvão mineral e o gás natural (FREEDMAN *et al.*, 2024; SINGH, 2024).

Uma das maneiras de gerar energia elétrica a partir de fontes renováveis ou fósseis é por meio de usinas termelétricas, que convertem a energia térmica produzida por qualquer material capaz de gerar calor em energia elétrica. Esse tipo de fonte é consideravelmente importante na matriz elétrica brasileira, uma vez que promove a segurança energética, dada sua característica de complementariedade às fontes renováveis de energia, sobretudo as hidrelétricas (LEITE; FIGUEIREDO; PORTO, 2025; FARIAS e FONTGALLAND, 2022). Além disso, uma das vantagens na utilização de usinas termelétricas é sua versatilidade e adaptabilidade para diversos tipos de combustíveis (NASCIMENTO *et al.*, 2026; MORAIS, 2025).

No contexto energético brasileiro, caso se pretenda realizar uma análise setorizada das usinas termelétricas, é possível, dentre múltiplas possibilidades, recorrer ao campo da matemática denominado Estatística, uma vez que esta permite examinar, de forma quantitativa e qualitativa, o comportamento e o desenvolvimento do setor. Tal abordagem facilita a identificação de oportunidades de melhoria e possibilita, inclusive, a projeção de sua evolução futura. Além disso, esse tipo de análise

permite a introdução de conceitos que fundamentam a análise de dados e programação (computacional).

Nesse aspecto, a Estatística, disciplina comum a múltiplos Projetos Políticos Pedagógicos do ensino superior brasileiro, é componente que possibilita a introdução de temas complexos relacionados a distintas áreas do conhecimento. Assim, no contexto científico, educacional, social, econômico e ambiental, a estatística auxilia na tomada de decisões, no planejamento e na compreensão de temas distintos, permitindo incluir áreas específicas do conhecimento segundo um direcionamento de estudo (COSTA, 2025).

Diante disso, o presente trabalho objetiva a aplicação da estatística descritiva para a análise da relação entre as usinas termelétricas brasileiras e o tipo de combustível utilizado. Para isso, foi analisado o conjunto de dados fornecido pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, aplicando conceitos de estatística descritiva. Assim, o trabalho destina-se à organização, resumo e descrição do conjunto de dados por meio de tabelas, gráficos e medidas resumo, como as medidas de posição e medidas de dispersão, além das discussões acerca da evolução do setor.

MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo é resultado de uma metodologia voltada ao ensino de conceitos fundamentais da estatística, aplicados à análise de dados de energia. O trabalho fez uso da base de dados “Quantidade de usinas termelétricas por tipo” da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.



Os dados foram obtidos através do link: <https://dadosabertos.aneel.gov.br/dataset/usinas-termelétricas-por-tipo>.

A planilha analisada constitui uma matriz 1049 x 7, que distingue a origem do combustível (fóssil ou biomassa), tipo de usina, quantidade de usinas, média de potência instalada, mês de referência e ano de referência. Os dados obtidos são expressos em quantidades e potência instalada em kW (quilowatt). De acordo com a ANEEL (2023), a quantidade corresponde ao número de empreendimentos em operação comercial no período especificado, nesse caso entre 2012 e 2022.

Ainda de acordo com a ANEEL (2023): “Existem milhares de tipos de combustíveis que podem gerar energia termelétrica, entretanto essa tabela contempla apenas aqueles que já tem empreendimentos que utilizam dessa fonte. [...]. Assim, a origem dos combustíveis utilizados para a geração termelétrica foi classificada em “Fósseis” ou “Biomassa”. Para simplificação, os combustíveis receberam subclassificações, denominadas de “Fonte Nível 1” e “Fonte Nível 2”. Para a biomassa, a Fonte Nível 1 foi classificada em “Agroindustriais”, “Biocombustíveis Líquidos”, “Floresta”, “Resíduos Animais”, e “Resíduos Sólidos Urbanos”, que foi sua vez receberam subclassificações de Fonte Nível 2 conforme literatura mencionada. Para os combustíveis fósseis, a Fonte Nível 1 foi classificada em “Carvão Mineral”, “Gás natural”, “Petróleo” e “Outros Fósseis”, que foi sua vez receberam subclassificações de Fonte Nível 2 conforme literatura mencionada. “Outros Fósseis” serviu para agrupar demais subprodutos de origem fóssil que não tem atualmente relevância estatística, como o Enxofre.”

Para o tratamento dos dados, foi utilizada a ferramenta *Google Colab* com auxílio da importação da biblioteca ‘pandas’, assim como a função “Localizar e Substituir” do Microsoft Excel, além dos recursos associados aos filtros. Para a construção de tabelas e gráficos, o *Google Colab* foi utilizado com a importação da biblioteca ‘matplotlib’, além da utilização do Excel. A escolha de ambos os softwares foi feita em função dos conteúdos abordados previamente nas disciplinas para a introdução de ciência de dados e estatística.

Ainda durante o tratamento dos dados foi necessário a criação de um algoritmo (código) para verificação de diferenças na escrita dentro das colunas, para facilitar o processo de padronização das categorias. Por exemplo, na coluna “NomSubTipoUsina” havia distinções como “Biogás -AGR” e “Biogás - ARG”. Depois de identificados as distinções foi utilizado a ferramenta “Localizar e Substituir” do Excel para realizar a padronização e correção das categorias.

Para os gráficos foram analisadas as séries históricas, mas agrupadas pela média do conjunto, além da utilização de gráficos com intervalos de 5 anos desde 2012 até 2022, compondo 3 intervalos. Os gráficos apresentam como objetivo evidenciar as relações estatísticas entre as usinas termelétricas que utilizam como combustível a biomassa e as usinas que utilizam combustíveis fósseis.

A seguir são apresentadas as medidas de posição utilizadas.

Média: A média ($\bar{x}$) é calculada pelo quociente da soma de todos os elementos contidos no conjunto de dados ($\sum_{i=1}^n x_i$) pela quantidade de elementos (n), como apresentado na Equação (1).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1)$$

Mediana: para o cálculo da mediana ($md(X)$) existem duas possibilidades de identificação do valor numérico, a depender da quantidade de elementos contidos no conjunto de dados.

Se a quantidade de dados for número ímpar, a mediana é calculada pela Equação (2):

$$md(X) = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \quad (2)$$

Caso contrário, se o conjunto de dados representar um número par, a mediana é calculada pela seguinte Equação (3):

$$md(X) = \frac{x_{\left(\frac{n}{2}\right)} + x_{\left(\frac{n}{2}+1\right)}}{2} \quad (3)$$

Para o cálculo das medidas de dispersão, a variância e desvio padrão utilizam as equações (4) e (5), respectivamente.

Variância (σ^2): é obtida pelo somatório do quadrado da diferença entre cada valor e a média aritmética, dividida pela quantidade de elementos contidos no conjunto de dados.

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (4)$$

Desvio padrão: O desvio padrão é obtido extraindo a raiz da variância, o que melhora a compreensão da variabilidade dos dados.

$$dp = \sqrt{\sigma} \quad (5)$$

A realização dos cálculos acima mencionados foi realizada no Microsoft Excel utilizando os comandos =MÉDIA(), =MED(), =VAR() e =DESVPAD.A() para calcular as médias, medianas, variâncias e desvios padrões respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de dados escolhidos, gerado no dia 07/03/2023, inclui a quantidade e a MPI (Média de Potência Instalada) em kW das usinas termelétricas dos anos de 2012 a 2022. A quantidade corresponde ao número de empreendimentos em operação comercial no ano especificado e a potência instalada determina o porte da central geradora, definida pelo somatório das potências elétricas ativas das unidades. O conjunto de dados também contém informações sobre a origem do combustível, sendo classificados em “Fósseis” ou “Biomassa”. Os combustíveis classificados como de origem biomassa foram subdivididos em “Agroindustriais”, “Biocombustíveis Líquidos”, “Floresta”, “Resíduos Animais”, e “Resíduos Sólidos Urbanos”. Já os combustíveis fósseis, foram subdivididos em “Carvão Mineral”, “Gás natural”, “Petróleo” e “Outros Fósseis”, este último, como já mencionado, agrupa os demais subprodutos de origem fóssil que não tem atualmente relevância estatística.

A partir dos dados foram feitas análises comparativas em intervalos de 5 anos (2012, 2017 e 2022), assim como análises gerais verificando as mudanças ano a ano durante o período de 2012 – 2022.

Para a construção da Tabela 1 foi levado em consideração que cada usina é apresentada em quatro meses de referência: mês 3, mês 6, mês 9 e mês 12. Para essa análise, os dados foram agrupados por ano, somados e depois divididos por quatro. Dessa forma, apresenta-se a quantidade média de usinas em operação em cada ano, bem como a média da potência instalada.

Tabela 1. Quantidade média de usinas termelétricas em operação e média da potência instalada por ano entre 2012 e 2022.

Ano	Qnt Usinas	MPI (KW)
2012	1.571	32.077.090
2013	1.737	35.240.008
2014	1.859	37.194.342
2015	2.665	39.213.166
2016	2.913	40.351.974
2017	2.955	41.213.478
2018	3.002	41.206.216
2019	3.020	40.741.989
2020	3.061	42.864.350
2021	3.093	43.753.971
2022	3.099	45.488.516

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

A Tabela 1 evidencia a quantidade de usinas e a soma das médias de potência instalada de cada ano. A partir da análise da Tabela 1 é possível perceber o aumento gradativo da inserção de termelétricas, resultado das crises hídricas históricas que as incentivou como fonte de segurança energética (LEITE; FIGUEIREDO; PORTO, 2025). Assim, entre 2012 e 2022, o aumento significativo da participação das usinas térmicas na matriz elétrica brasileira é resultado de fatores estruturais e conjunturais (GALVÃO e BERMANN, 2015).

Em função de condições geográficas favoráveis, o Brasil é tradicionalmente dependente das hidrelétricas, que hoje compõem mais de 50% da matriz elétrica brasileira. Então, ao longo de sua historicidade, o Brasil enfrentou sucessivas crises hídricas que reduziram os níveis dos reservatórios e comprometeram consideravelmente a geração de energia (EPE, 2024). Diante desse cenário, as termelétricas passaram a desempenhar um papel fundamental como fonte complementar, com aumento gradativo, que ocorreu em resposta às crises, garantindo o abastecimento e evitando riscos de “apagões” (SOARES, 2024).

Diferentemente das hidrelétricas, que dependem da precipitação pluviométrica, as termelétricas podem ser acionadas rapidamente e operam de forma independente de variações sazonais (GOMES; SILVA; SANTIAGO, s.d.). Diante disso, o planejamento energético nacional passou a incorporar essas usinas como estratégia para assegurar estabilidade ao sistema elétrico, especialmente em períodos de escassez hídrica. Apesar disso, é necessário mencionar que as térmicas estão relacionadas a consequências negativas, como o custo elevado e a utilização de combustíveis fósseis, que impactam diretamente as Emissões de Efeito Estufa (GEE) (DAS NEVES e SHAYAN, 2020).

Nesse aspecto, para a análise mais aprofundada, os dados foram divididos de acordo com a fonte de origem, Biomassa ou Fóssil, e construídas as Tabelas 2 e 3, que permitem compreender como se dá a participação por tipo de fonte. A partir disso, foi possível verificar que durante todo o período houve uma participação majoritária dos combustíveis fósseis que representaram em média 66% da MPI total de cada ano.

Tabela 2 - Quantidade de Usinas, Potência Instalada Média e Participação (%) das Termelétricas a Biomassa (2012–2022)

Ano	Qnt Usinas	MPI (KW)	% da MPI total anual
2012	442	9.495.002	29,60
2013	468	10.904.449	30,94
2014	490	11.896.475	31,98
2015	510	12.923.590	32,96
2016	527	13.680.522	33,90
2017	538	14.256.556	34,59
2018	555	14.631.728	35,51
2019	567	14.868.314	36,49
2020	574	15.164.291	35,38
2021	587	15.494.928	35,41
2022	614	16.252.284	35,73

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

A Tabela 2 apresenta a quantidade de usinas que utilizam a Biomassa como fonte e a soma das médias de potência de cada ano desde 2012 até 2022. A média de produção é de 13.597.103 kW, mediana de 14.256.556 kW e desvio padrão de 2.089.484 kW. A média de usinas em operação é de 534 para todo o período em análise.

Tabela 3. Quantidade de Usinas, Potência Instalada Média e Participação (%) das Termelétricas movidas a combustíveis fósseis (2012–2022)

Ano	Qnt Usinas	MPI (KW)	% da MPI total
2012	1129	22.582.089	70,40
2013	1270	24.335.560	69,06
2014	1369	25.297.867	68,02
2015	2155	26.289.576	67,04
2016	2386	26.671.451	66,10
2017	2417	26.956.922	65,41
2018	2447	26.574.487	64,49
2019	2453	25.873.675	63,51
2020	2487	27.700.059	64,62
2021	2507	28.259.044	64,59
2022	2485	29.236.232	64,27

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

Já ao analisarmos a Tabela 3 em comparação aos mesmos dados da tabela anterior, é possível notar que há uma maior quantidade de potência gerada anualmente por meio de combustíveis fósseis, com um

valor crescente neste período de 10 anos. Assim, há uma média anual de 26.343.360 kW, mediana de 26.574.487 kW e desvio padrão de 1.841,5 kW. A média de usinas que fazem uso de combustíveis fósseis é de 2.100 para o período.

Essa análise nos leva a concluir que os combustíveis fósseis chegam a gerar mais que o dobro de potência gerada pelo biogás. Essa disparidade pode ser observada na Figura 1, que mostra um comparativo anual da geração de potência tanto da biomassa quanto do combustível fóssil. É evidente que apesar de haver um aumento na produção anual pela biomassa, há também um aumento significativo de combustíveis fósseis, que o mantém na liderança da geração térmica.

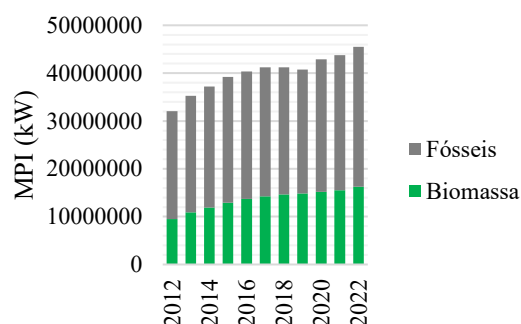


Figura 1. Comparação de MPI por tipo de combustível (2012 – 2022)

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

Esses dados se tornam mais compreensíveis, quando fazemos uma análise comparativa entre a quantidade de usinas. Por esse motivo, a figura 2 apresenta a quantidade de usinas elétrica para o período, comparando o tipo de fonte.

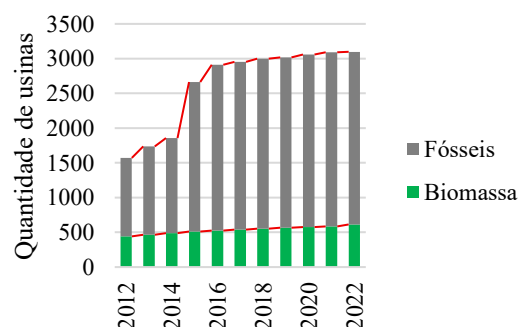


Figura 2: Comparação da quantidade de usinas termelétricas ao longo dos anos

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

A figura 2 permite observar um crescimento significativo no número total de usinas ao longo do período, sobretudo entre 2014 e 2016. Esse avanço indica um momento de forte expansão das usinas termelétricas, associado à necessidade de reforçar a segurança energética, sobretudo em contextos de escassez hídrica no Brasil. O período entre 2014 e 2015 foi marcado pela crise hídrica, sobretudo da região Sudeste, maior consumidor de energia no cenário nacional (ALMEIDA e BENASSI, 2015; MARENGO e ALVES, 2015).

Além disso, as Figuras 1 e 2 reforçam a disparidade entre a quantidade de usinas termelétricas por fonte, o que destaca a liderança dos combustíveis fósseis em relação as usinas de biomassa.

Para que seja possível entender o desenvolvimento na média de potência instalada (MPI) pela biomassa, a princípio, foi feito um comparativo entre o uso de suas respectivas matérias primas em um período de 5 anos. Como pode ser visto na Figura 3, que mostra a porcentagem de MPI gerada por cada matéria prima em 2012 e em 2017.

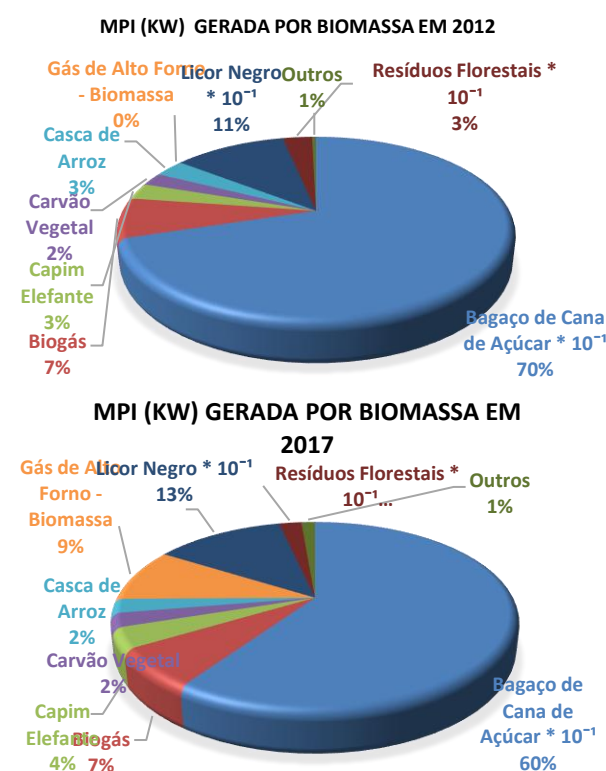


Figura 3. Percentual de participação da potência instalada (MPI) gerada por matéria-prima renovável em 2012 e 2017.

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

Como pode ser observado, tanto em 2012 como em 2017 há uma grande liderança no uso do bagaço de cana-de-açúcar para a geração, entretanto, mesmo com sua forte liderança, é possível notar que houve um aumento no uso de outras fontes, como por exemplo o gás de alto forno, que em 2012 tinha 0% de uso, e em 2017 já apresenta 9%, maior aumento nesse período.

O uso de gás de alto forno, se provou com diversas vantagens de uso, dentre elas podemos listar: Redução das emissões de gases e particulado; Economia considerável com equipamentos de controle da poluição do ar; Redução de emissões de CO₂ devido a melhor eficiência. Além disso, com a utilização do subproduto de baixo valor calorífico como combustível, os combustíveis de alto valor calorífico podem ser utilizados em outros processos industriais que não a geração de energia elétrica (BRANDIZZI e BOHTZ, 2009)

Para que obtivéssemos a confirmação de que esses dados seriam constantes, um novo gráfico foi feito, dessa vez com os dados de 2022, como pode ser observado na Figura 4.

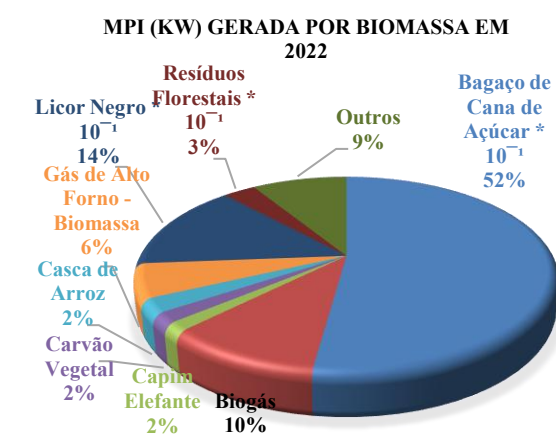


Figura 4. Percentual de participação da potência instalada (MPI) gerada por matéria-prima renovável no ano de 2022.

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

Como pode ser observado, houve uma diminuição do uso de bagaço de cana, resultado da diversificação das fontes no setor térmico. Então, essa diminuição apenas evidencia que foi possibilitado que outras matérias primas fossem utilizadas. Entretanto, diferente dos dados que obtivemos em 2017, as demais formas de geração tiveram um pequeno aumento em suas respectivas porcentagens. Em contexto geral, houve um aumento entre 1% e 3%, e o gás de alto forno sofreu uma diminuição de 1%, em comparação ao período anterior.

A ampla utilização do bagaço de cana-de-açúcar pode ser atribuída às múltiplas vantagens que esse recurso apresenta, as quais, em muitos aspectos, reforçando-o como alternativa promissora para o futuro da geração de energia a partir da biomassa. Entre os principais benefícios associados ao seu uso, destacam-se: a contribuição para a preservação dos reservatórios hidrelétricos, uma vez que possibilita o suprimento energético em períodos de estiagem; a maior flexibilidade operacional da bioeletricidade gerada, a redução das emissões de GEE, a significativa geração de empregos diretos; e a diminuição das perdas, bem como dos custos relacionados à transmissão de energia elétrica (DA SILVA; MANTESI; FLORIAN, 2023).

A mesma análise foi realizada para as termelétricas em operação com combustível fóssil, estabelecendo o comparativo na porcentagem de MPI de cada tipo de matéria prima em um período de 5 anos, como mostra a Figura 5.

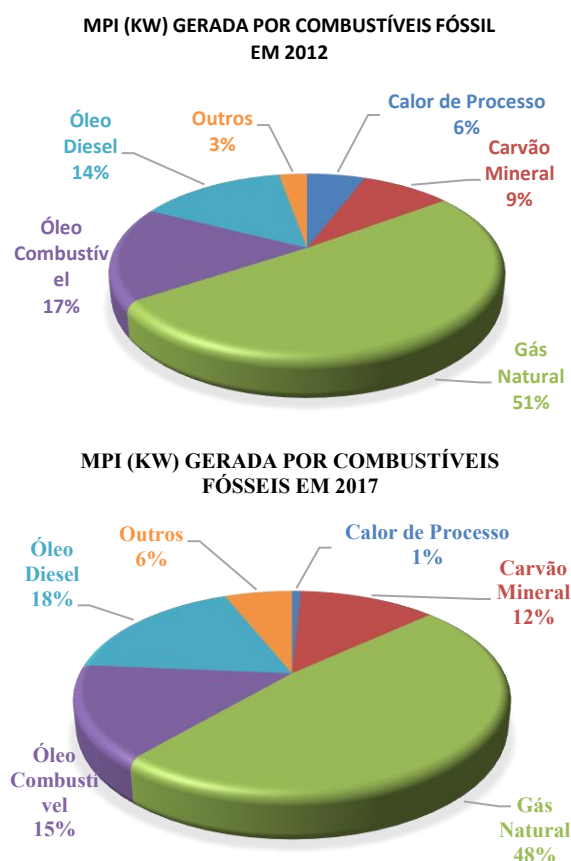


Figura 5: Percentual de participação da potência instalada (MPI) gerada por matéria-prima fóssil em 2012 e 2017.

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

Como se pode observar, há também a presença de uma matéria-prima que exerce liderança significativa em

relação às demais em ambos os anos analisados: o gás natural, com participação de 48% na produção, em média. Nota-se que, entre os anos considerados, não se verificam alterações expressivas em suas respectivas gerações. Contudo, incluindo o gás natural, três fontes apresentaram uma diminuição média de aproximadamente 3% (calor de processo e óleo combustível). Por outro lado, as outras três fontes registraram aumento, embora sem um padrão consistente, com variação média de cerca de 3,3%.

Pensando se esses aumentos e diminuições seriam constantes, realizamos um gráfico com o MPI gerado no ano de 2022, como pode ser observado na Figura 6.

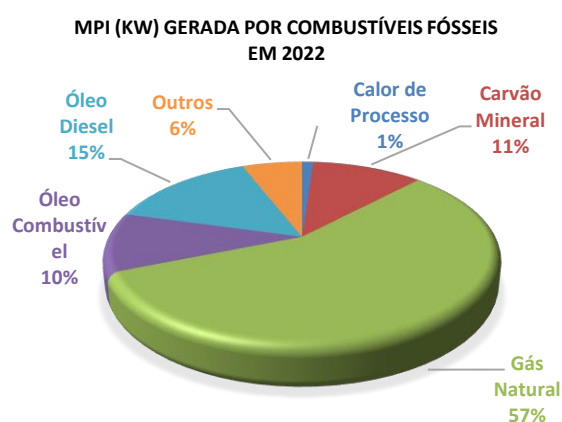


Figura 6. Média de potência instalada (MPI) gerada por matéria prima fóssil no ano de 2022.

Fonte: elaborado pelos autores a partir dos dados disponibilizados pela ANEEL.

Diferentemente, da análise da Figura 5, a Figura 6 nos mostra que de maneira geral apenas dois meios mantiveram constância nos dados, sendo eles o óleo combustível que continuou sofrendo diminuição em sua porcentagem, e o calor de processo que manteve sua porcentagem igual a de 2017. O restante seguiu o caminho inverso, os que outrora aumentaram, sofreram uma diminuição, e os que diminuiram aumentaram, como foi o caso do gás natural, que anteriormente sofreu uma redução de 3%, e em 2022 teve um aumento considerável de 9%.

A liderança e aumento no uso de gás natural também se dá por diversos benefícios, sendo eles econômicos, ambientais, e pela sua abundância em diversas partes do mundo (JAHWAR, 2022).

CONCLUSÃO

A análise estatística das termelétricas brasileiras, analisada por tipo de combustível utilizado, evidencia diferenças significativas. Os resultados indicam que fontes como gás natural tendem a apresentar maior



participação e menor variabilidade nos indicadores analisados. Além disso, observa-se que a diversificação da matriz térmica desempenha papel estratégico na segurança energética do país, especialmente em períodos de escassez hídrica. Dessa forma, evidencia-se a importância de políticas públicas e decisões de investimento que priorizem fontes mais limpas e eficientes, sem comprometer a confiabilidade do sistema elétrico, sobretudo em relação à biomassa.

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia e Ciências – FEC, Unesp, Rosana – SP.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Daniel Ladeira; BENASSI, Roseli Frederigi. Crise hídrica e de energia elétrica entre 2014-2015 na região Sudeste. *Revista Hipótese*, v. 1, n. 2, p. 65-76, 2015.
- BRANDIZZI, M.; BOHTZ, C. Experiência operacional da Alstom em plantas de geração de energia em ciclo combinado e cogeração utilizando gás de alto forno. XX SNPTTE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. 2009. Disponível em: < <https://www.cgti.org.br/publicacoes/wp-content/uploads/2016/03/EXPERI%C3%80NCIA-OPERACIONAL-DA-ALSTOM-EM-PLANTAS-DE-GERA%C3%80O-DE-ENERGIA-EM-CICLO-COMBINADO-E-COGERA%C3%80O-UTILIZANDO-G%C3%80S-DE-ALTO-FORNO.pdf>>. Acesso em: 17 abr. 2026.
- COSTA, N. L. Potencialidade de dados ambientais no ensino da estatística em cursos de graduação. In: *Temáticas das teses e dissertações em educação matemática desenvolvidas na Amazônia* [livro eletrônico]/organização Dailson Evangelista Costa, Mônica Suelen Ferreira de Moraes, Idemar Vizolli. — Confresa, MT: Gnosis Carajás, 2025
- DAS NEVES, Guilherme Macedo; SHAYANI, Rafael Amaral. Precificação da emissão de gases de efeito estufa da energia solar fotovoltaica e da energia termelétrica a gás natural: estudo de caso na Universidade de Brasília. In: *Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar-CBENS*. 2020.
- DA SILVA, Rendryckson Barbosa; MANTESE, Marco Antônio; FLORIAN, Fabiana. O BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR NA GERAÇÃO DE ENERGIA. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar*-ISSN 2675-6218, v. 4, n. 1, p. e414526-e414526, 2023.
- DE FARIAS, C. G; FONTGALLAND, I. L. Complexos energéticos: uma análise da nova composição das matrizes de energia do Brasil e do mundo. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, v. 8, n. 1, p. 1421-1445, 2022.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética – EPE. PDE 2034: Plano Decenal de Expansão de Energia 2030. Brasília: EPE, 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/plano-decena-de-expansao-de-energia-2030>>. Acesso em: 24 mar. 2026.
- EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Matriz Energética e Elétrica. 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/matriz-energetica-e-eletrica>>. Acesso em: 31 mar. 2026.
- FREEDMAN, Bill et al. ~ Renewable and Non-renewable Energy Sources. *Environmental Science*, 2024.
- GALVÃO, Jucilene; BERMANN, Célio. Crise hídrica e energia: conflitos no uso múltiplo das águas. *Estudos avançados*, v. 29, p. 43-68, 2015.
- GOMES, Renan Veloso; DA SILVA, Hendrigo Batista; SANTIAGO, Leonardo Pereira. *DESPACHO ÓTIMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM SISTEMA HIDROTÉRMICO*.
- LEITE, E. L.; FIGUEIREDO, N. M.de; PORTO, A. L. G. Geração termoeletrica como compensação às flutuações de vazões em hidrelétricas: impactos e desafios. In: *TERRA DO MAR DOCE EDIÇÃO ESPECIAL COP 30: CONTRIBUIÇÕES DA ACADEMIA PARA A AMAZÔNIA*. Editora Científica Digital, 2025. p. 556-577.
- MARENGO, Jose Antonio; ALVES, Lincoln M. Crise hídrica em São Paulo em 2014: seca e desmatamento. *GEOUSP Espaço e Tempo* (Online), v. 19, n. 3, p. 485-494, 2015.
- MORAIS, Lucas Rigoletto Guedes de. Segurança elétrica no Brasil: a relevância das usinas termelétricas na estabilidade do sistema interligado nacional. Orientador: Nestor Proenza Pérez. 2025. 66 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia e Ciências, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2025.
- NASCIMENTO, I. da. S. et al. Um panorama geral das energias renováveis e sua importância para a sustentabilidade energética. *Revista OWL (OWL Journal)-REVISTA INTERDISCIPLINAR DE ENSINO E EDUCAÇÃO*, v. 4, n. 1, p. 1-46, 2026.



PAL, Dan Bahadur; RATHOURE, Amit Kumar. Environmental Aspects in Electrical Energy Generation: A Comprehensive Review. Renewable Energy Development: Technology, Material and Sustainability, p. 351-375, 2025.

SINGH, Vir. Energy resources. In: Textbook of Environment and Ecology. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 185-206.

SOARES, Marcos de Abreu. Análise regulatória das crises hídricas enfrentadas em 2001 e 2021 no setor elétrico brasileiro. 2024. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.