

ANÁLISE DA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA ANUAL NO ESTADO DE SÃO PAULO

Caroline Rufino do Nascimento¹, Augusto Cardoso da Silva¹, Thiago Henrique Paranhos da Silva¹, Cauã Mangold Marchesi¹, Luis Gustavo Coelho Bergamasco¹, Naiara Lima Costa¹

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

Resumo: Este trabalho analisa a produção de energia térmica em SP (1999-2022) via estatística descritiva. Com dados do ONS processados em Excel e Google Colab, o estudo demonstra como as termelétricas suprem o sistema nacional durante crises hídricas e baixas nos reservatórios. Os resultados revelam padrões sazonais e confirmam uma expansão tecnológica e produtiva do setor nas últimas duas décadas, consolidando seu papel de suporte.

Palavras-chave: Termoeletricas; estatística descritiva; matriz elétrica.

INTRODUÇÃO

Historicamente, o setor energético brasileiro estruturou sua matriz elétrica com base em suas características geográficas, o que favoreceu o aproveitamento da energia hídrica (EPE, 2020). Como resultado, o país consolidou-se como uma das principais referências mundiais em geração de energia limpa e renovável (DE ARAÚJO, 2023). Hoje, a matriz elétrica brasileira depende consideravelmente das hidrelétricas, que representam mais de 50% da geração de energia, apesar desse percentual ter sido gradativamente reduzido ao longo dos anos (EPE, 2024).

A sazonalidade de fontes renováveis e a crescente instabilidade climática conduzem à vulnerabilidade do sistema brasileiro: a dependência do regime de chuvas (LEITE; FIGUEIREDO; PORTO, 2025; BRANDÃO *et al.*, 2024; GUTIERREZ, 2024; ARTAXO, 2022). Nesse contexto, a energia térmica deixa de ser apenas uma fonte complementar, para se tornar o pilar de segurança do país (MORAIS, 2025; OLIVEIRA *et al.*, 2023).

As termelétricas auxiliam na estabilidade do Sistema Interligado Nacional (SIN) nos períodos de seca e oferecem o suporte necessário para a expansão de outras fontes renováveis, como a eólica e a solar. Com isso, a importância da energia térmica no Brasil reside em sua pronta resposta, assegurando que o crescimento econômico não seja interrompido por crises hídricas e/ou dependência de demais renováveis, ao mesmo tempo em que permite a transição para uma matriz cada vez mais diversificada e moderna (JÚNIOR e do NASCIMENTO, 2025; EPE, 2018).

Com a crescente digitalização do setor elétrico, a importância da energia térmica na matriz brasileira deve ser acompanhada por uma sólida base em ciência de dados e estatística. Para o estudante de engenharia, compreender dados térmicos sob uma ótica estatística é essencial para transformar grandes volumes de informações operacionais em *insights* estratégicos. Apesar disso, essa capacitação deve ser gradativa, e por isso a apresentação destes dados pode ser contextualizada na estatística descritiva básica, de forma a apresentar aspectos iniciais e permitir que os estudantes aprendam e reforcem conceitos com o histórico energético brasileiro.

Diante do presente exposto, evidencia-se que a energia térmica tem um papel fundamental na matriz elétrica brasileira e, consequentemente, na formação dos profissionais da área. Nesse contexto, a Estatística, área comum das diversas engenharias, assume papel crucial na compreensão de conteúdos relacionados às mais diversas áreas. E, uma vez que, no setor energético, a divulgação de dados de energia é substancial para o planejamento, tais dados tornam-se ferramenta aliada ao ensino de Estatística.

A análise dos dados permite a apresentação de técnicas de organização e de cálculo de medidas que caracterizam as informações contidas, além de proporcionar espaço para a orientação de leitura e interpretação e, sobretudo, demonstração do potencial apresentado pelos métodos estatísticos na interpretação de fenômenos (COSTA, 2025).

O presente estudo objetiva empregar fundamentos estatísticos em conjuntos de dados de energia,

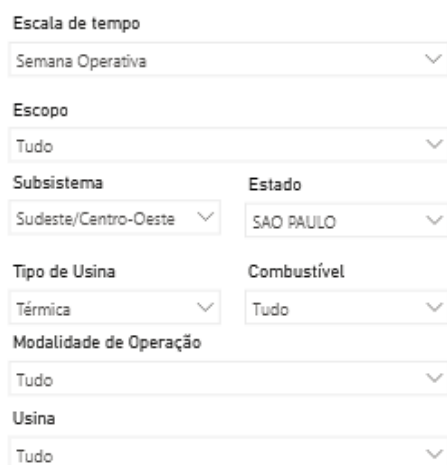
consolidando o aprendizado prático de alunos da graduação.

MATERIAL E MÉTODOS

Essa é uma pesquisa que envolve estatística descritiva da base de dados do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A base de dados fornece dados de energia elétrica, em Wh. A pesquisa quantitativa objetiva organizar, resumir e apresentar dados numéricos referentes aos dados de energia térmica, bem como discutir os principais resultados observados, fundamentando os principais aspectos teóricos da área. Os dados foram analisados pelo Excel, da *Microsoft*, e pelo *Google Colab*.

Os dados da energia térmica no Estado de São Paulo, foram adquiridos por semana operativa, de 1999 a 2022, considerando a geração térmica do principal estado consumidor de energia. 1250 informações de geração foram coletadas e organizadas para posterior análise. De acordo com a ONS, os dados semanais contemplam as usinas despachadas e/ou programadas, com base em dados recebidos pelo Sistema de Supervisão e Controle da instituição, mais a previsão de geração de usinas não despachadas pelo ONS (ONS, 2026).

A seleção de critérios foi realizada dentro do site da ONS, como apresentado na Figura 1.

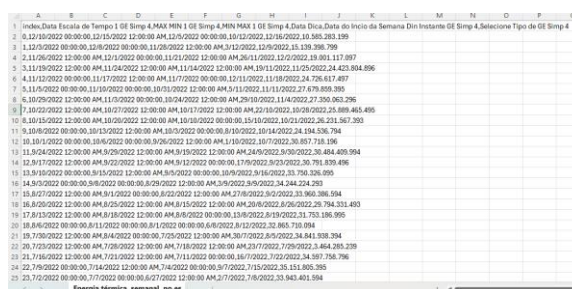


The image shows a web interface for selecting data criteria. It includes several dropdown menus and checkboxes:

- Escala de tempo:** Set to 'Semana Operativa'.
- Escopo:** Set to 'Tudo'.
- Subsistema:** Set to 'Sudeste/Centro-Oeste'.
- Estado:** Set to 'SAO PAULO'.
- Tipo de Usina:** Set to 'Térmica'.
- Combustível:** Set to 'Tudo'.
- Modalidade de Operação:** Set to 'Tudo'.
- Usina:** Set to 'Tudo'.

Figura 1. Critérios de seleção para a aquisição dos dados.

O arquivo CSV (*comma-separated values*) trabalhado é apresentado na Figura 2.



The image shows a snippet of a CSV file containing power generation data. The columns represent various parameters, and the rows contain numerical values representing power generation in different units and time periods.

Figura 2. Dados disponíveis para download no SIN.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do SIN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, serão discutidas as principais análises estatísticas empregadas na base de dados, permitindo a análise integrada entre o conteúdo da disciplina de Estatística e o conteúdo pertinente às demais disciplinas que contemplem aspectos térmicos e de planejamento energético.

Na Figura 3 é apresentada a evolução da geração de energia térmica ao longo do período analisado (entre a primeira semana operativa de 1999 e a semana operativa do dia 10 de dezembro de 2022).

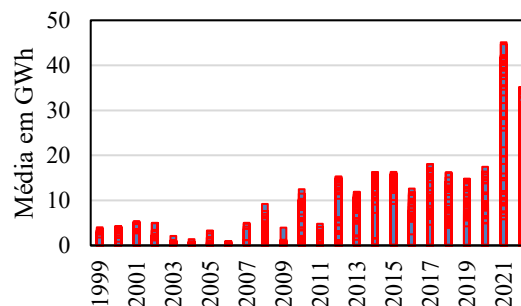


Figura 3. Evolução da média de geração térmica no Estado de São Paulo (1999 – 2022)

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do SIN.

É possível observar que, entre 1999 e 2002, a geração térmica é baixa e relativamente estável. Em aspecto geral, até 2006, a participação da fonte é pouco significativa e apresenta decréscimos ao longo de sua evolução. A partir de 2008, é observado aumento gradativo e, após 2020, ocorre o maior acréscimo. Esse perfil de crescimento indica que a geração térmica passou de um papel complementar para um papel cada vez mais relevante no sistema elétrico brasileiro e, consequentemente, paulista. É importante destacar que a região Sudeste e o Estado de São Paulo acompanham a tendência de crescimento nacional, como apresentado na Figura 4.

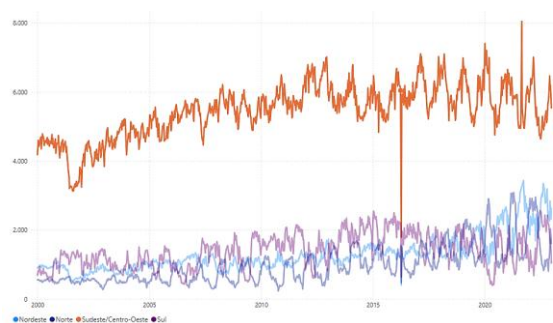


Figura 4. Evolução da média de geração (GWh) hidrúlica por região brasileira (1999 – 2022).

Fonte: Disponibilizado pelo ONS.

A Figura 3 ainda destaca forte variabilidade temporal, caracterizando períodos de baixa geração, centrados em sua maioria até 2011, e picos abruptos de geração, majoritariamente após 2012. Essa particularidade é típica de usinas térmicas, que possuem como característica o despacho sob demanda, uma vez que estas são utilizadas principalmente em momentos de necessidade do sistema.

Além disso, é possível afirmar que a geração térmica no Brasil está fortemente ligada à disponibilidade hídrica, dado que períodos secos refletem no aumento da geração térmica, enquanto períodos chuvosos implicam na redução da utilização desse tipo de fonte. Assim, de maneira geral, os grandes picos de geração térmica são relacionados a crises hídricas oriundas dos baixos níveis dos reservatórios (BORGES, 2021), vide Figuras 2 e 3. O comportamento observado sugere a integração com o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Essa análise corrobora a utilização da geração térmica para a garantia de segurança energética, atendimento à demanda e redução de risco de déficit. Assim, períodos como 2001–2002, 2013–2015 e 2021–2022 evidenciam a ascensão térmica como reflexo das crises hídricas (SOARES, 2024).

Por fim, as Figuras 3 e 4 ainda permitem discutir sobre as mudanças no perfil de geração, inicialmente ilustrando um sistema dominado por hidrelétricas e depois evidenciando um sistema hidrotérmico.

Ainda nesse contexto, a análise da evolução também incorporou a análise de tendência central e dispersão. Para essa análise, foram calculadas a média, a mediana e o desvio padrão. Nessa etapa, os dados foram agrupados por ano e calculados em MWh. Essa etapa da análise estatística descritiva é evidenciada pela Figura 5 e pela Tabela 1.

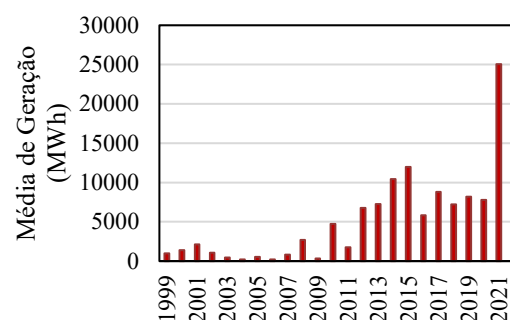


Figura 5. Média a cada ano da geração de energia térmica em MWh de 1999 a 2022.

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do SIN.

Os dados apresentados mostram a evolução da geração média e mediana de energia térmica (em MWh) para o período analisado, reforçando mais uma vez o crescimento expressivo, acompanhado por elevada variabilidade anual.

Para a realização dessa análise, foi necessária a organização da planilha e a aplicação dos conceitos de medidas de tendência central, permitindo integrar o conteúdo teórico aos dados de energia e, consequentemente, aprofundar a discussão sobre o perfil termo-energético brasileiro.

Tabela 1 - Medidas de tendência central e de dispersão para dados de geração térmica no período de 1999 a 2022.

Ano	Média (MWh)	Mediana (MWh)	Desvio padrão (MWh)
1999	1003,48	0,34	1550,70
2000	1378,63	0,41	1749,80
2001	2130,11	2841,7	2100,01
2002	1057,45	1,26	1065,69
2003	453,64	477,57	461,72
2004	198,63	1,51	296,17
2005	535,61	310,48	824,06
2006	212,43	71,92	258,92
2007	805,91	0,01	1629,48
2008	2703,84	2242,26	2405,79
2009	330,71	180,16	875,70
2010	4718,04	3762,8	4260,43
2011	1748,48	2072,7	1312,18
2012	6768,59	5066,11	6022,16
2013	7268,77	8623,41	3944,73
2014	10420,96	12766,16	5825,25
2015	11965,05	13326,91	4882,16
2016	5836,3	6517,75	3890,57
2017	8800,06	8209,1	5784,80
2018	7232,74	6390,03	5060,35



2019	8207,38	7704,68	4197,35
2020	7801,46	8516,42	5102,21
2021	25059,09	28052,29	14958,18
2022	19768,87	24194,54	12058,19

Fonte: Elaborado pelo autor a partir dos dados do SIN.

A partir da Figura 5, expandida pela Tabela 1, é possível perceber que o final da década de 1990 e início dos anos 2000 é marcado por valores médios de geração relativamente baixos, como em 1999 (1003,48 MWh) e 2000 (1378,63 MWh). Nesse período, as medianas mantêm-se próximas a zero ou muito reduzidas, indicando que a geração térmica era pouco utilizada na maior parte das semanas operativas, sendo acionada apenas em situações específicas. Adicionalmente, ao longo de toda a tabela, é possível perceber o elevado valor do desvio padrão, caracterizado justamente pelo acionamento das termelétricas em períodos específicos. Assim, para um mesmo ano, há consideráveis variações da utilização da fonte, dado a integração com as demais fontes disponíveis na matriz brasileira, Figura 6.

A partir de 2001 e, principalmente, entre 2003 e 2006, observa-se aumento gradual tanto da média quanto da mediana. Esse comportamento sugere maior frequência de uso das usinas térmicas, em resposta a variações hidrológicas e crescimento da demanda. Entre 2007 e 2010, há forte variação. Segundo Medina (2010), além da estiagem, outro fator que contribuiu para o aumento da geração de energia térmica nesse período foi o crescimento econômico do país. Com o desenvolvimento e a expansão de setores como a indústria e o comércio, houve um aumento na demanda por energia elétrica, o que levou ao acionamento de mais usinas termelétricas para o suprimento da demanda adicional.

Além disso, a média da geração térmica permite reforçar o caráter complementar dessa fonte no sistema. Em 2008, por exemplo, a média salta para 2703,84 MWh, enquanto em 2009 recua significativamente para 330,71 MWh. A partir de 2011, ocorre uma mudança mais estrutural. Tanto a média quanto a mediana aumentam de forma consistente, com destaque para 2012 e 2013, quando os valores médios ultrapassam 6000 MWh. Isso indica que a geração térmica passa a ser utilizada de maneira mais presente.

Entre 2014 e 2015 evidencia-se um período importante, refletindo um cenário de uso intensivo das térmicas, associado a condições hidrológicas desfavoráveis e maior necessidade de segurança no abastecimento. De acordo com Hunt *et al.* (2022), apesar do grande potencial hidrelétrico brasileiro, desde a seca de 2014 e 2015, este não foi explorado

em sua maior capacidade. Por esse motivo, os autores destacam concentração na geração de energia termelétrica, além de fontes como a solar e a eólica. Essa medida possibilita que os reservatórios se elevem, de modo que o país possa gerar mais energia através plantas hidrelétricas existentes, reduzir seus custos de eletricidade e diminuir as emissões de monóxido de carbono (CO₂) provenientes dos combustíveis fósseis das termelétricas (HUNT *et al.*, 2022).

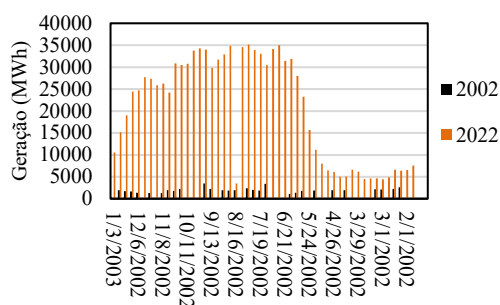
Após 2016, os dados mostram certa redução, mas ainda com média de geração superior às observadas no início da série. Segundo a Câmara dos Deputados (2016), a falta de água para abastecimento humano em grandes cidades brasileiras, chamada de crise hídrica, aconteceu principalmente na Região Metropolitana de São Paulo, entre 2013 e 2015. Diante disso, evidencia-se um percentual de crescimento da geração térmica nesse período, referente ao racionamento de água.

Entre 2017 e 2020, os valores permanecem elevados, embora com oscilações, evidenciando a consolidação da geração térmica como componente relevante da matriz elétrica (CALDAS, 2017).

Nos anos mais recentes, de 2021 a 2022, há nova elevação significativa e medianas também muito altas, indicando uso intenso e frequente das térmicas. Esse comportamento está associado a eventos recentes de escassez hídrica e à necessidade de garantir a confiabilidade do sistema elétrico, cada vez mais diversificado e com penetração de fontes de energia renovável. Para Borges (2021), as principais origens da crise de energia elétrica de 2021 vão além das baixas médias pluviométricas registradas no país. Para o autor, a falta de planejamento estratégico para o setor elétrico brasileiro e a dependência excessiva da fonte hídrica para geração de eletricidade no país são fatores que merecem atenção.

Nesse contexto, segundo Iuri Corsini e Filipe Brasil da CNN (2022), o Brasil aumentou em 77% a geração de energia por meio de usinas termelétricas fósseis entre 2020 e 2021. Com isso, na matriz energética nacional, a participação das fontes fósseis passou de 9% em 2000, para 14% em 2020, o que direciona a uma das maiores discussões dessa fonte.

A título de comparação, apresenta-se a Figura 6, que ilustra a variação anual da utilização das usinas termelétricas, confrontando os anos de 2002 e 2022 e evidenciando o expressivo crescimento dessa fonte na matriz elétrica brasileira



Por fim, conclui-se que os dados indicam uma tendência de aumento da participação da energia térmica ao longo do tempo, que evolui de um papel secundário para uma função mais estruturante no sistema elétrico, embora ainda preserve sua característica de elevada variabilidade em função das condições de oferta e demanda de energia.

CONCLUSÃO

A aplicação da análise estatística descritiva a dados de energia revela-se não apenas como uma etapa metodológica, mas como o alicerce indispensável para a interpretação da eficiência operacional e da estabilidade da matriz elétrica brasileira, aspecto fundamental da engenharia de energia.

A construção de tabelas e gráficos (como as séries temporais) provou ser a ferramenta eficaz para a comunicação técnica e permitiu que os discentes ampliassem os fundamentos teóricos para além da estatística. Conceitos como despacho de energia, diversificação da matriz elétrica e transição energética foram amplamente comentados.

Em relação aos aspectos educacionais, as análises gráficas e tabuladas corroboram a literatura específica da área de energia e reafirmam a análise técnica como um pilar fundamental, sobretudo quando integrada aos métodos estatísticos e dados relevantes para a Engenharia. Assim contextualiza-se a importância dos conceitos estatísticos abordados em aula, fundamentados através da análise direcionada.

Em relação aos dados, nota-se um crescimento expressivo da geração térmica do Estado de São Paulo ao longo dos anos, associadas à gestão da água e ao crescimento econômico. Além disso, a análise torna-se base para as disciplinas subsequentes, sobretudo referente ao planejamento energético.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- ARTAXO, Paulo. Oportunidades e vulnerabilidades do Brasil nas questões do clima e da sustentabilidade. **Revista USP**, n. 135, p. 119-136, 2022.
- BORGES, Fabricio Quadros. Crise de energia elétrica no Brasil-uma breve reflexão sobre a dinâmica de suas origens e resultados. **RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218**, v. 2, n. 10, p. e210809-e210809, 2021.
- BRANDÃO, Simone Quaresma et al. Hidroenergia aprimorando o futuro da integração de energias renováveis variáveis: uma análise regional da disponibilidade de capacidade no Brasil. **Energias**, v. 17, n. 13, p. 3339, 2024.
- CALDAS, Leonardo Araújo et al. **Perspectivas da substituição gradual de termelétricas a combustíveis fósseis por sistemas fotovoltaicos em microgeração distribuída**. Centro de Energias Alternativas e Renováveis (CEAR) - Programa de Pós-Graduação em Energias Renováveis. Mestrado (energias renováveis. Universidade Federal da Paraíba. 2017.
- CÂMARA DOS DEPUTADOS. “CRISE HÍDRICA”. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/estudos-e-notas-tecnicas/fiquePorDentro/temas/crise-hidrica-mar-2018#:~:text=Crise%20h%C3%ADrica%20%C3%A9%20como%20tem,de%202016%20at%C3%A9%20o%20presente>. Acesso em: 17 jun. 2023.
- CORSINI, L.; BRAILDA, F. “Produção de energia por termelétricas cresce 77% em 2021, aponta estudoCNN”. CNN. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/producao-de-energia-por-termeltricas-cresce-77-em-2021-aponta-estudo/> Acesso em: 16 jun. 2023.
- COSTA, N. L. Estatística descritiva aplicada a dados de energia para cursos de engenharia. In: Anais do Seminário de Boas Práticas de Ensino e Aprendizagem (SBPEA) da EEL-USP. Anais...Lorena(SP) EEL-USP, 2025. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/sbpea2025-625395/1399192-ESTATISTICA-DESCRITIVA-APLICADA-A-DADOS-DE-ENERGIA-PARA-CURSOS-DE-ENGENHARIA>. Acesso em: 31/03/2026.



DE ARAÚJO, Daniel Féo Castro. The dynamics of renewable energies in the Brazilian energy matrix in the 21ST century. **Revista Cerrados (Unimontes)**, v. 21, n. 01, p. 399-429, 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. “Mudanças climáticas e Transição energética”. *Empresa de Pesquisa Energética*. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/abcedenergia/clima-e-energia>. Acesso em: 14 jun. 2023.

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-decenal-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.

GUTIERREZ, M. B. G. P. S. As Mudanças climáticas e seus impactos sobre o setor de energia elétrica no Brasil: a necessidade de aprimorar o planejamento energético. *Boletim Regional, Urbano e Ambiental, Brasília*, n. 33, p. 111-119, dez. 2024. DOI: <https://dx.doi.org/10.38116/brua33art9>

HUNT, Julian David et al. Energy crisis in Brazil: Impact of hydropower reservoir level on the river flow. **Energy**, v. 239, p. 121927, 2022.

JÚNIOR, José Sidney Batista Ribeiro; DO NASCIMENTO, Emerson Leão Brito. A relevância da diversificação da matriz energética para a segurança e sustentabilidade do sistema elétrico brasileiro. **Cuadernos de Educación y Desarrollo-QUALIS A4**, v. 17, n. 12, p. e10394-e10394, 2025.

MEDINA, Humberto. “Com reservatórios baixos, geração térmica é recorde”. *Folha de São Paulo*. Disponível em: <https://m.folha.uol.com.br/mercado/2010/08/780590-com-reservatorios-baixos-gerac-ao-termica-e-recorde.shtml>. Acesso em: 26 jun. 2023.

LEITE, Emayara Lima; FIGUEIREDO, Nélío Moura de; PORTO, Aline Lopes Gonçalves. GERAÇÃO TERMOELÉTRICA 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.

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.

OLIVEIRA, Vinicius et al. O SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO: UMA AVALIAÇÃO DAS TERMELETRICAS DA LEI DE DESESTATIZAÇÃO DA ELETROBRAS. *Revista Tempo do Mundo*, n. 32, p. 295-318, 2023.

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico. Resultados da operação - histórico. Geração de energia. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/resultados-da-operacao/historico-da-operacao/geracao_energia.aspx>. Acesso em: jun. 2023.

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.