

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

IMPACTOS DA SECA NA GERAÇÃO HIDRELÉTRICA BRASILEIRA E ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS PARA A SEGURANÇA ENERGÉTICA NO BRASIL

Júlia Campos Ribeiro¹ (EG), Hugo Perazzini(PQ)¹

¹ Universidade Federal de Itajubá

Palavras-chave: Energias Renováveis. Hidrelétricas. Hidrelétricas a Fio d'Água. Matriz Energética.

Introdução

O Brasil, historicamente, construiu sua matriz elétrica fortemente baseada na geração hidrelétrica, responsável por grande parte da oferta de energia no país (PODER360, 2024). Esse modelo, consolidado ao longo do século XX, proporcionou eletricidade de baixo custo e elevada participação de fontes renováveis. No entanto, a dependência das usinas hidrelétricas tornou-se um ponto de vulnerabilidade diante do cenário atual de mudanças climáticas e de eventos extremos cada vez mais frequentes, como as secas prolongadas. Nos últimos anos, estiagens severas em diferentes regiões do país têm reduzido de forma significativa os níveis dos rios e reservatórios (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2024) que abastecem as principais usinas, resultando em queda da produção energética e aumento dos riscos de crise no fornecimento.

Com a redução da oferta hidrelétrica, surgem consequências diretas tanto no aumento do custo da energia elétrica quanto no impacto ambiental associado à necessidade de acionar termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Além disso, os ecossistemas fluviais — que dependem dos fluxos regulares dos rios — sofrem com alterações que afetam a biodiversidade, a pesca e o abastecimento humano. A situação é agravada pelo fato de que uma parcela relevante das maiores hidrelétricas brasileiras, como Belo Monte, Santo Antônio e Jirau, foi construída sob o modelo a fio d'água, com pouca ou nenhuma capacidade de armazenamento, ficando ainda mais vulnerável à variação das chuvas.

A experiência recente demonstra que a matriz elétrica brasileira precisa avançar rumo à diversificação, reduzindo a dependência das hidrelétricas e incorporando de forma mais consistente outras fontes renováveis, como a solar, a eólica e a biomassa. Essas alternativas não apenas oferecem maior resiliência em períodos de estiagem, mas também trazem benefícios

econômicos e sociais, como a geração de empregos, a interiorização de investimentos e a redução da emissão de gases de efeito estufa. O crescimento acelerado da energia solar e eólica nos últimos anos — com destaque para o Nordeste, que concentra alguns dos maiores potenciais do mundo — evidencia o papel estratégico dessas fontes na complementação do sistema elétrico nacional.

Este artigo tem como objetivo discutir os impactos das secas sobre a geração hidrelétrica no Brasil, analisando dados das maiores usinas do país e ressaltando a vulnerabilidade da matriz elétrica diante da variabilidade climática. Além disso, serão exploradas as potencialidades de fontes renováveis complementares, seus benefícios ambientais, e como sua expansão pode contribuir para a construção de um sistema energético mais seguro, sustentável e resiliente para o futuro do Brasil.

Metodologia

Este estudo adotou uma abordagem quantitativa para analisar o impacto da variabilidade climática na geração de energia hidrelétrica nas maiores usinas do Brasil. Foram selecionadas sete das principais hidrelétricas do país, responsáveis por uma parcela significativa da capacidade instalada nacional e localizadas em diferentes bacias hidrográficas. As usinas analisadas foram:

- Itaipu Binacional – localizada no Rio Paraná, na fronteira entre Brasil e Paraguai. Trata-se de uma usina com reservatório, sendo a segunda maior hidrelétrica do mundo em capacidade instalada.
- Belo Monte (Norte Energia) – situada no Rio Xingu (PA), é uma usina de grande porte construída sob o modelo a fio d'água, com reduzida capacidade de armazenamento.
- Tucuruí (Eletronorte) – localizada no Rio

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Tocantins (PA), é uma das maiores usinas com reservatório, permitindo maior regulação do fluxo hídrico.

- Santo Antônio (SEASA) – instalada no Rio Madeira (RO), opera como usina a fio d’água, com baixa capacidade de acumulação.
- Ilha Solteira (Cesp/Eletronbras) – construída no Rio Paraná (SP/MS), funciona como usina de reservatório, com expressiva capacidade de armazenamento.
- Jirau (ESBR) – também situada no Rio Madeira (RO), é uma usina a fio d’água, semelhante a Santo Antônio.
- Xingó (CHESF/Eletronbras) – localizada no Rio São Francisco (AL/SE), é uma usina com reservatório, fundamental para a regulação hídrica da região Nordeste.

Os dados sobre a geração diária de energia dessas usinas foram coletados no portal Balanço de Energia do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), abrangendo o período de 1 de agosto de 2024 a 31 de julho de 2025. A escolha desse intervalo permitiu analisar de forma completa o desempenho anual das usinas, englobando tanto períodos de estiagem quanto de maior precipitação.

Após a coleta, os dados foram organizados em planilhas e, posteriormente, utilizados para gerar gráficos que ilustram a variação da produção de energia ao longo do período analisado. Essa abordagem possibilitou observar os impactos diretos da sazonalidade e das secas na geração hidrelétrica, destacando diferenças de comportamento entre usinas de reservatório e a fio d’água.

A escolha da metodologia quantitativa justifica-se pela sua capacidade de fornecer uma análise objetiva e comparativa do desempenho das principais usinas hidrelétricas do Brasil em diferentes condições climáticas.

Após a análise quantitativa, foi conduzida uma pesquisa para entender melhor como as energias solar e eólica poderiam contribuir como alternativas à geração hidrelétrica. O foco dessa etapa foi avaliar o potencial dessas fontes renováveis na região, especialmente durante períodos de seca prolongada, quando as hidrelétricas enfrentam limitações. A ideia foi verificar como essas energias podem complementar a matriz energética e ajudar a suprir a demanda, garantindo uma

maior estabilidade mesmo em momentos de escassez de chuvas.

Resultados e discussão

Os resultados da análise quantitativa revelaram uma queda significativa na geração de energia nas usinas hidrelétricas ao longo do período de seca, principalmente nos meses de junho, julho, agosto, setembro, outubro e novembro. A variação nos níveis de produção foi especialmente notável na Usina de Belo Monte, situada no Rio Xingu, que registrou uma redução brusca na vazão gerada durante o período analisado. Da mesma forma também vale ressaltar as Usinas de Jirau e Santo Antônio no rio Madeira, que também registraram quedas expressivas em sua produção no mesmo período.

O padrão comum entre essas usinas é o fato de operarem sob o modelo a fio d’água, ou seja, sem grandes reservatórios de acumulação. Esse tipo de usina depende diretamente da vazão natural dos rios, o que as torna altamente vulneráveis às variações climáticas e à ocorrência de estiagens prolongadas. Como consequência, a geração de energia apresenta oscilações mais abruptas, comprometendo a segurança do fornecimento elétrico em períodos críticos.

Por outro lado, as usinas construídas com reservatórios, como Itaipu, Tucuruí, Ilha Solteira e Xingó, embora também tenham apresentado variações ao longo do ano, mostraram uma oscilação significativamente menor na geração. Isso ocorre porque a presença do reservatório permite o armazenamento de água, funcionando como um mecanismo de regulação capaz de garantir maior estabilidade na produção mesmo em períodos de menor vazão. Assim, as usinas de reservatório cumprem um papel estratégico no equilíbrio do Sistema Interligado Nacional (SIN), atuando como uma espécie de “pulmão” para suprir a demanda quando as fontes mais intermitentes apresentam queda.

No entanto, a construção de grandes reservatórios está associada a impactos socioambientais relevantes, como o alagamento de extensas áreas, deslocamento de comunidades ribeirinhas e indígenas, perda de biodiversidade e alteração dos ecossistemas fluviais. Esses fatores foram determinantes, sobretudo a partir da década de 2000, para que novos projetos de grande porte na região Norte fossem implantados majoritariamente sob o modelo a fio d’água, como Belo Monte, Jirau e

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

Santo Antônio. Embora esse modelo minimize impactos de inundação, ele aumenta a inconstância na geração, reforçando a vulnerabilidade do sistema hidrelétrico brasileiro frente às mudanças climáticas.

Portanto, os resultados evidenciam uma contradição estrutural: enquanto as usinas de reservatório oferecem maior estabilidade energética, apresentam custos ambientais mais elevados; já as usinas a fio d’água, que surgem como alternativa menos impactante nesse aspecto, tornam-se mais suscetíveis a crises energéticas em períodos de estiagem. Esse cenário demonstra a importância de se investir em uma matriz diversificada, em que outras fontes renováveis — como solar, eólica e biomassa — possam complementar a geração hidrelétrica, reduzindo a dependência do regime hidrológico e contribuindo para a segurança energética do país.

Esses dados confirmam que a diminuição dos níveis de água nos reservatórios, causada pela escassez de chuvas, impacta diretamente a capacidade de geração das hidrelétricas, reforçando a vulnerabilidade desse modelo de geração em períodos de estiagem prolongada. Tais dados podem ser vistos no gráfico da Figura 1, plotado a partir da vazão registrada em cada uma das usinas monitoradas, os dados sintetizados foram obtidos através do Balanço de Energia do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

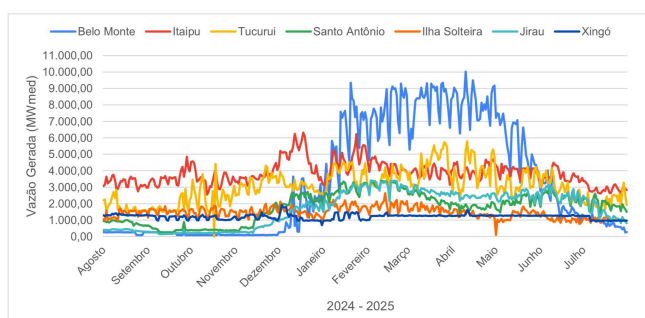


Figura 1 – Gráfico da Vazão Gerada (MWmed) nas usinas monitoradas entre 1 de agosto de 2024 e 31 de julho de 2025.

Além da análise hidrelétrica, observa-se que a expansão das fontes solar e eólica tem desempenhado um papel cada vez mais relevante na matriz elétrica brasileira. Em 2024, juntas, essas fontes já foram responsáveis por aproximadamente 24% da eletricidade gerada no país (AGÊNCIA GOV, 2025), consolidando-se como alternativas fundamentais diante da redução da geração

hidrelétrica em períodos de seca. A energia solar fotovoltaica apresentou crescimento expressivo, ultrapassando 55 GW de capacidade instalada em março de 2025 e alcançando cerca de 22% da matriz elétrica nacional, tornando-se a segunda maior fonte do Brasil, atrás apenas da hídrica (ANEEL, 2024). A geração eólica, por sua vez, corresponde atualmente a cerca de 12% da matriz elétrica, com destaque para os recordes de produção atingidos em novembro de 2024 (EPE, 2025), quando o país registrou 23.699 MWmed de pico horário e 18.976 MWmed de média diária, valores inéditos no sistema elétrico nacional (ONS, 2025).

Apesar dos avanços, o setor eólico enfrentou uma redução no ritmo de expansão, instalando apenas 3,3 GW em 2024, o que representa uma queda de aproximadamente 31% em relação ao ano anterior, com previsão de retomada mais consistente apenas a partir de 2027. Já a solar segue em forte expansão, especialmente no modelo de geração distribuída (telhados e pequenas usinas), com rápida interiorização em diversas regiões do país. Esses resultados reforçam que, embora a energia hidrelétrica continue a ser a base da matriz, a complementaridade entre solar e eólica é essencial para garantir segurança energética e reduzir a vulnerabilidade do Brasil frente às variações climáticas.

Conclusões

Este estudo evidenciou de maneira clara a vulnerabilidade da geração de energia hidrelétrica no Brasil em períodos de seca, destacando principalmente as usinas a fio d’água, como Belo Monte, Jirau e Santo Antônio, que apresentaram quedas acentuadas em sua produção. Esses resultados mostram como o modelo hidrelétrico brasileiro, fortemente dependente da regularidade das chuvas, é suscetível a mudanças climáticas extremas, como longas estiagens.

Embora as usinas de reservatório, como Itaipu, Tucuruí, Ilha Solteira e Xingó, tenham demonstrado maior capacidade de regulação e estabilidade, também sofreram impactos durante os períodos de estiagem prolongada. Isso confirma que a dependência quase exclusiva das hidrelétricas para o fornecimento de energia no Brasil torna o sistema vulnerável a variações climáticas, especialmente em um cenário de aquecimento global que intensifica os ciclos de seca.

Diante desse quadro, a necessidade de diversificar a

“Do conhecimento acadêmico à transformação sustentável: inovação com validação científica”

matriz energética brasileira torna-se cada vez mais urgente. Uma das soluções mais promissoras é a expansão das fontes renováveis não hídricas, como a energia solar e a eólica, que já apresentam crescimento expressivo no país. Em 2025, a energia solar alcançou cerca de 22% da matriz elétrica nacional (AGÊNCIA GOV, 2025), consolidando-se como a segunda maior fonte, enquanto a eólica já responde por aproximadamente 12% (EPE, 2025). Esses números evidenciam que a complementaridade entre essas fontes e a hidrelétrica é fundamental para reduzir a vulnerabilidade do sistema.

No entanto, a expansão em larga escala dessas tecnologias ainda enfrenta desafios relevantes. Entre eles, destacam-se a necessidade de investimentos em infraestrutura de transmissão, capazes de integrar os novos empreendimentos ao Sistema Interligado Nacional (SIN), e o avanço em soluções de armazenamento de energia, que possam garantir estabilidade diante da intermitência natural do sol e do vento. A adoção de tecnologias como baterias em grande escala e usinas reversíveis é essencial para assegurar a confiabilidade no fornecimento elétrico.

A transição para uma matriz energética mais diversificada e menos dependente das hidrelétricas não deve ser vista apenas como uma questão técnica ou econômica, mas também como uma prioridade estratégica de segurança nacional. Políticas públicas robustas, incentivos fiscais e linhas de financiamento específicas serão determinantes para acelerar a expansão das energias solar e eólica em regiões estratégicas, como o Nordeste, que apresenta algumas das melhores condições do mundo para esses empreendimentos.

Além dos benefícios ambientais, como a redução das emissões de gases de efeito estufa, a diversificação da matriz energética brasileira traz ganhos sociais e econômicos, com a criação de empregos, a interiorização de investimentos e o fortalecimento do desenvolvimento regional. Ao depender menos das hidrelétricas, o Brasil estará mais preparado para enfrentar secas severas e outros eventos climáticos imprevisíveis, garantindo maior estabilidade no fornecimento de energia para a população e para os setores produtivos.

Portanto, os resultados deste estudo reforçam a urgência de continuar investindo em fontes renováveis limpas e diversificadas. A expansão da energia solar e eólica, em

complementaridade à geração hidrelétrica, não apenas ajuda a mitigar os impactos das mudanças climáticas, mas também prepara o país para um futuro mais resiliente, sustentável e seguro em termos energéticos.

Agradecimentos

Gostaria de expressar minha profunda gratidão à Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) pelo suporte e pela oportunidade de realizar esta pesquisa. Meu agradecimento também vai ao Programa de Educação Tutorial – PET, e ao FNDE pelo apoio financeiro, que foi essencial para o desenvolvimento deste trabalho. Por fim, agradeço ao Professor Rogério José Silva, por toda troca de aprendizados e conhecimentos indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

Referências

- Balanço de Energia. Operador Nacional do Sistema Elétrico. Disponível em: <https://sdro.ons.org.br/SDRO/DIARIO/index.htm> . Acesso em: 22 ago. 2025.
- ANEEL. Matriz elétrica brasileira cresce 10,9 GW em 2024. *CanalEnergia*. Disponível em: <https://www.canalenergia.com.br/noticias/53300522/matriz-elétrica-brasileira-cresce-109-gw-em-2024> . Acesso em: 22 ago. 2025.
- AGÊNCIA GOV. Matriz elétrica brasileira registra maior expansão da história em 2024. *Agência Gov*. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202501/matriz-eletrica-brasileira-registra-maior-expansao-da-historia-em-2024> . Acesso em: 22 ago. 2025.
- EPE. Matriz elétrica brasileira foi 88% renovável em 2024. *pv magazine Brasil*. Disponível em: <https://www.pv-magazine-brasil.com/2025/05/29/matriz-eletrica-brasileira-foi-88-renovavel-em-2024> . Acesso em: 22 ago. 2025.
- PODER360. Brasil tem matriz elétrica com maior uso de renováveis. *Poder360*. Disponível em: <https://www.poder360.com.br/poder-energia/brasil-tem-matriz-eletrica-com-maior-uso-de-renovaveis> . Acesso em: 22 ago. 2025.
- OBSERVATÓRIO DO CLIMA. Impacto do aquecimento global no Brasil. *Wikipédia*. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/wiki/Impacto_do_aquecimento_global_no_Brasil . Acesso em: 22 ago. 2025.