



IMPACTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BRASIL EM COMPARAÇÃO COM PADRÕES GLOBAIS

JONAS SOUZA PINTO; GISELLE FRANCINE BRITO MUNIZ; ANNA MARIA DE MEDEIROS GOMES OLIVEIRA; BRUNO MOURA DOS SANTOS MIRANDA; JOSEANE OLIVEIRA DA SILVA

RESUMO

A geração de energia elétrica é um pilar fundamental para o desenvolvimento econômico e social de uma nação. Este estudo investigou o impacto ambiental da geração de energia elétrica no Brasil, comparando com padrões globais. O objetivo foi analisar a matriz energética brasileira, identificando as fontes de geração de energia que mais contribuem para a poluição atmosférica e comparando os dados com estatísticas internacionais para situar o Brasil em relação a outros países em termos de eficiência energética e sustentabilidade. A metodologia envolveu a coleta de dados de órgãos nacionais e internacionais, como ANEEL, EPE, BNE, AIE e IPCC, e a análise dos relatórios para avaliar a participação de diferentes fontes de energia elétrica e seu impacto ambiental, especialmente em termos de emissões de CO₂. Os resultados mostraram que o Brasil se destaca mundialmente pela adoção de fontes renováveis, como hidrelétrica, eólica e solar, que representam uma grande parte da matriz energética. Em 2023, o Brasil teve uma queda de 9,03% na emissão de CO₂, com um fator médio anual de 0,0385 tCO₂/MWh, devido ao aumento do uso de energias limpas. Comparado à média global, o Brasil emitiu 91% menos CO₂ por MWh que a China, 83% menos que os Estados Unidos e 75% menos que os países europeus da OCDE. No entanto, as usinas termoeletricas, que utilizam combustíveis fósseis, ainda representam uma fonte significativa de emissões de CO₂ no Brasil, especialmente durante períodos de escassez de água. Conclui-se que, apesar dos avanços, é necessário intensificar os esforços para promover fontes de energia limpa e implementar políticas que reduzam ainda mais o impacto ambiental da geração de eletricidade, visando uma matriz energética mais sustentável.

Palavras-chave: Poluentes Atmosféricos; Impactos Ambientais; Produção de Energia; Sustentabilidade; Eficiência Energética.

1 INTRODUÇÃO

A geração de energia elétrica, como fator de desenvolvimento econômico, é um dos pilares da infraestrutura e do progresso social de uma nação. A crescente demanda por energia impulsiona a procura por soluções mais dinâmicas e eficientes, que atendam tanto às necessidades presentes quanto as futuras. Nesse contexto, a qualidade da energia produzida representa um aspecto crucial a ser considerado, não se tratando apenas de quantificar a geração de eletricidade, mas também de avaliar os impactos ambientais e sociais associados a cada fonte de energia.

Ao longo das últimas décadas, o Brasil se destacou no cenário mundial ao adotar políticas de inserção de geração de energia sustentável na matriz energética nacional. Porém, a utilização de energias advindas de fontes agressoras ao meio ambiente ainda representa porcentagem importante na matriz brasileira. Algumas tecnologias de geração, como a queima

de carvão e petróleo, são conhecidas por sua alta emissão de poluentes, incluindo dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e material particulado, contribuindo significativamente para a poluição, com consequências a nível mundial, como o aquecimento global (DIAS, 2011). Por outro lado, fontes de energia renovável, como solar, eólica e hidrelétrica, são amplamente consideradas mais limpas e menos prejudiciais ao meio ambiente.

Nesse contexto, a análise de quais fontes geradoras de energia detêm os índices de poluição mais elevados e como essas fontes afetam o clima, emerge como uma iniciativa substancial. Ao compreender as fontes específicas de poluição ambiental associadas à geração de energia elétrica, pode-se direcionar esforços para minimização de tais impactos negativos. Além disso, ao compararmos esses dados com as médias globais, pode-se identificar não apenas os desafios específicos enfrentados pelo Brasil, mas também comparar com dados internacionais para determinar a posição relativa do país em termos de eficiência energética e sustentabilidade ambiental. Tal comparação não apenas fornece um ponto de referência importante para avaliar o desempenho ambiental do Brasil, mas também destaca as melhores práticas e tecnologias adotadas por outras nações que podem ser adaptadas e implementadas localmente.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Essa pesquisa propôs uma metodologia para investigar o impacto da geração de energia elétrica na poluição atmosférica no Brasil em comparação com padrões globais. Inicialmente, foi realizado um levantamento de dados utilizando relatórios anuais e semestrais de órgãos nacionais e internacionais relevantes, incluindo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o Balanço Nacional de Energia (BNE) e fontes como Our World in Data. Além disso, foram consultados dados e análises de instituições internacionais como a Agência Internacional de Energia (AIE) e o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para contextualização global e comparação com outras nações.

Posteriormente, foi conduzida uma análise dos relatórios desses órgãos para compreender a matriz energética brasileira, examinando a participação de diferentes fontes de geração de energia elétrica e seu impacto ambiental, especialmente em termos de emissões de poluentes atmosféricos, como CO₂. Os dados obtidos foram então comparados com estatísticas internacionais para situar o Brasil em relação a outros países e à média global em termos de geração de energia e poluição atmosférica.

A partir da análise desses dados, foram identificadas tendências e desafios relacionados à geração de energia e poluição atmosférica no Brasil, bem como políticas e tecnologias que visam mitigar os impactos ambientais. Os resultados foram discutidos em relação aos objetivos da pesquisa, destacando implicações para a política energética e ambiental do país, com ênfase na transição para fontes de energia mais limpas e na melhoria da eficiência e sustentabilidade do setor elétrico. Por fim, foram apresentadas conclusões e recomendações para orientar políticas e medidas futuras visando uma matriz energética mais sustentável e a redução dos impactos ambientais associados à geração de energia elétrica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Brasil é um país privilegiado sob o aspecto energético, pois seu relevo, hidrografia e clima tropical permitem o aproveitamento das diversas fontes renováveis de energia, como a hidráulica, biomassa, eólica e solar (Amarante et al., 2001; Martins et al., 2008; Costa et al., 2013; Schmidt et al., 2016).

A energia hidrelétrica é uma fonte de energia renovável que utiliza a força da água para gerar eletricidade e pode ser considerada a mais importante no mundo, representando cerca de 16% da geração total de eletricidade em 2021 (IRENA, 2022). As diferenças na

produção de eletricidade por fonte no Brasil desde 1965 são notórias, saltando de 25,62 TWh para 428,06 TWh em menos de 60 anos, a produção hidrelétrica é a que mais destaca-se nesse contexto (RITCHIE, 2022). Ademais, o Brasil dispõe de um sistema gerador com capacidade instalada de mais de 150 GW, com predominância hidrelétrica. Essa predominância decorre da extensa superfície territorial do país, com muitos planaltos e rios caudalosos (EPE, 2023).

Em um comparativo mundial do percentual anual de crescimento de energia hidrelétrica, diversos países como França, Alemanha e Reino Unido obtiveram decaimento em suas gerações. Esse fato pode dar-se pelo fato de investimentos em fontes que abundam mais em países europeus, como eólica e termoeletrica. No sentido oposto, o Brasil se destaca, com um crescimento de mais de 17% no mesmo período de tempo.

Os benefícios da inserção da energia eólica para a segurança da matriz elétrica brasileira são importantes devido à sua complementaridade com o regime hídrico e manutenção do caráter limpo e renovável da matriz energética brasileira (Rampinelli e Rosa Júnior, 2012). O caráter renovável e o fato de não lançar poluentes para a atmosfera durante sua operação tornam a energia eólica uma das fontes mais promissoras para mitigação de problemas ambientais tanto a nível global como nacional. Entretanto, a energia eólica, como qualquer outra atividade industrial, também pode causar impactos no ambiente que devem ser considerados e mitigados (Amponsah et al., 2014).

Paralelamente, outras fontes de geração de energia elétrica constroem-se em um cenário muito relevante no contexto brasileiro, como as termelétricas. Por diversas razões conjunturais, houve a necessidade de se expandir e adicionar novas fontes produtoras ao Sistema Interligado Nacional (SIN). No SIN, existem ainda as térmicas complementares movidas a biomassa ou resíduos, importantes para o aumento da eficiência energética e complementaridade sazonal, mas que, em geral, são empreendimentos de pequeno porte (LAWSON; PEREIRA, 2018).

Segundo dados do Ministério da ciência, tecnologia e inovação (MCTI, 2024) em 2023, o Brasil teve uma queda de 9,03% na emissão de CO₂, com um fator médio anual de 0,0385 toneladas de CO₂ por megawatt-hora (tCO₂/MWh). Essa redução nas emissões reflete o forte crescimento do uso de energias não poluentes, como eólica e solar, que representaram 69% e 25%, respectivamente, do total de crescimento.

Ao comparar esses resultados com a matriz energética mundial, fica evidente que o Brasil está avançando na transição para fontes mais limpas e renováveis de energia. De acordo com a (IEA, 2023), em 2021, 85,3% da energia era proveniente de fontes poluentes em todo o mundo, principalmente em países que não possuem tantos recursos naturais e dependem da queima de combustíveis fósseis e nucleares como principal ferramenta de geração de energia elétrica.

Para efeito de comparação, segundo o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE,2023), em 2022 o Brasil emitiu cerca de 91% menos CO₂ para gerar cada megawatt-hora (MWh) em comparação com a China, 83% menos que os Estados Unidos e 75% menos que os países europeus da OCDE.

No entanto, apesar dos avanços, as usinas termoeletricas continuam sendo uma fonte significativa de emissões de CO₂ no Brasil, com sua geração proveniente de combustíveis fósseis, como carvão, gás natural e derivados de petróleo, os quais ainda representam 8,6% de participação na matriz energética (EPE,2023). Além disso, essas usinas enfrentam aumentos significativos de utilização e importância em momentos sazonais, como durante períodos de escassez de água.

4 CONCLUSÃO

O estudo ressalta a importância da geração de energia elétrica como um pilar fundamental para o desenvolvimento socioeconômico de uma nação, destacando a

necessidade de avaliar não apenas a quantidade, mas também a qualidade da energia produzida. Observou-se que, apesar dos avanços na adoção de fontes renováveis, o Brasil ainda enfrenta desafios significativos relacionados à poluição atmosférica gerada pela queima de combustíveis fósseis em usinas termelétricas.

A análise dos dados revelou a redução significativa nas emissões de CO₂ no Brasil e também destacou a importância dessa transição para uma matriz energética mais sustentável em comparação com a média mundial. Enquanto globalmente 85,3% da energia ainda é proveniente de fontes poluentes, como combustíveis fósseis e nucleares, o Brasil tem se destacado ao aumentar expressivamente a participação de fontes limpas, como eólica e solar, na geração de eletricidade. Essa transição para uma matriz energética mais sustentável é um passo positivo em direção à mitigação das mudanças climáticas e à preservação do meio ambiente.

Entretanto, é crucial destacar que as usinas termelétricas ainda desempenham um papel significativo na matriz energética brasileira e continuam sendo uma fonte relevante de emissões de CO₂, especialmente durante os períodos de escassez de água. Portanto, é importante que o país intensifique seus esforços na promoção de fontes de energia limpa e na implementação de políticas e tecnologias que reduzam ainda mais o impacto ambiental da geração de eletricidade.

REFERÊNCIAS

AMARANTE, O. A. C.; BROWER, M.; ZACK, J.; DE SÁ, A. L. **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2001. 45 p.

COSTA, A. O.; OLIVEIRA, L. B.; LINS, M. P. E.; SILVA, A. C. M.; ARAÚJO, M. S. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. O. et al. Sustainability analysis of biodiesel production: A review on different resources in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 407–412, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.06.005>. Acesso em 9 de abril de 2024.

DIAS, R. **Gestão ambiental: Responsabilidade social e sustentabilidade**. São Paulo: Atlas. 2011.

EPE. Empresa de pesquisa energética Anuário Estatístico de Energia Elétrica. p. 1-6, 5 dez.2023.Disponívelem:<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/anuario-estatistico-de-energia-eletrica>. Acesso em: 9 abr. 2024.

EPE. Empresa de pesquisa energética. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/areas-de-atuacao/energia-eletrica/expansao-da-geracao/fontes>>. Acesso em: 03 abril 2024. 2023.

IEL.International Energy Agency. **Data and statistics**. 2023. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics>. Acesso em: 9 abr. 2024.

IRENA. International renewable energy agency. **Renewables 2022: Global Status Report**. Abu Dhabi., 2022.

LAWSON, A.; PEREIRA, G. **Termelétricas e seu papel na matriz energética brasileira**. 2018. <<https://periodicos.fgv.br/bc/article/download/87175/81988/191778>>. Acesso em: 03 abril de 2024.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172008000100005>

MCTI. Ministério da ciência, tecnologia e inovação. **Fator médio - Inventários corporativos**. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/>

RITCHIE. Energy- our world in data. <<https://www.ourworldindata.org/energy>>. Acesso em: 03 abril 2024. 2022.

SCHMIDT, J.; CANCELLA, R.; PEREIRA JÚNIOR, A. O. An optimal mix of Schmidt PV, wind and hydro power for a low-carbon electricity supply in Brazil. **Renewable Energy**, v. 85, p. 137-147, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.010>.