

# ***PEQUENAS CENTRAIS NUCLEARES COMO ESTRATÉGIA DE GERAÇÃO ELÉTRICA DE BAIXO CARBONO PARA ALÉM DE 2050: Perspectiva para o Estado de São Paulo***

Edmilson Moutinho dos Santos,  
Instituto de Energia e Ambiente da USP,  
[edsantos@iee.usp.br](mailto:edsantos@iee.usp.br)

Thiago Luis Felipe Brito,  
Instituto de Energia e Ambiente da USP,  
[thiago.luis.tp@gmail.com](mailto:thiago.luis.tp@gmail.com)

Marilyn Mariano dos Santos,  
Instituto de Energia e Ambiente da USP,  
[marilinsantos@usp.br](mailto:marilinsantos@usp.br)

Hirdan Katarina de Medeiros Costa,  
Instituto de Energia e Ambiente da USP,  
[hirdan@usp.br](mailto:hirdan@usp.br)

## **Visão Geral**

Olhando-se para o futuro e para a implementação de estratégias de descarbonização acelerada e de RACE TO NET ZERO em escala global, as discussões sobre o papel a ser reservado à energia nuclear permanecem abertas. Ainda que, a partir de 2005, e particularmente entre 2010 e 2012, a produção de energia nuclear tenha perdido vitalidade e sofrido severa queda nos países da OCDE, após o acidente nuclear de Fukushima no Japão, tal queda é parcialmente compensada pelo avanço expressivo da energia nuclear nos países não membros da OCDE da Ásia, com destaque para a China. No Brasil, a energia nuclear é analisada e proposta como opção de energia elétrica de baixo carbono no Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050). No entanto, as contendas entre os grupos pró e contra à energia nuclear permanecem vivas e as investigações raramente ultrapassam a temática sobre o término da construção da terceira usina nuclear brasileira, ANGRA III. O Estado de São Paulo tem estado apartado desses debates nacionais. Contudo, desde a década de 1980, o Estado abriga as principais instalações do Programa Nuclear da Marinha do Brasil (PNM), que nasceu como Programa Autônomo de Tecnologia Nuclear (PATN). Esse Programa propiciou ao Brasil desenvolver os elementos mais sensíveis da tecnologia nuclear, torando-se detentor de tecnologia própria em praticamente todas as etapas de fabricação do combustível nuclear, inclusive o tão sensível enriquecimento do urânio. No Plano Estadual de Energia do Estado de São Paulo para 2050 (PEESP2050), propõe-se uma estratégia energética pró-nuclear para o Estado de São Paulo, com olhar para além do horizonte temporal de 2050 e partindo-se da aglutinação de infraestrutura complementar de Pequenas Centrais Nuclear (PCNs), como desdobramento do PNM. Este trabalho descreve o histórico, os fundamentos e as primeiras análises críticas dessa eventual estratégia nuclear paulista, cujo alcance poderá transbordar as fronteiras estaduais para os planos nacional e internacional.

## **Métodos**

Em sua parte introdutória, o trabalho resume o debate internacional sobre o papel que deverá ser reservado à energia nuclear nas estratégias de descarbonização acelerada das matrizes de geração elétrica de várias nações. Esse introito demonstra que, apesar de inúmeras contestações, a energia nuclear ainda não foi descartada como tecnologia para se alcançar o NET ZERO em escala global. Em seguida, a partir de breve revisão histórica, o trabalho também caracteriza o debate sobre a energia nuclear no Brasil. A questão sobre o abandono ou continuidade da construção de ANGRA III acaba surgindo como único destaque neste debate nacional. Os autores introduzem proposta alternativa, que se afasta dos grandes reatores para se concentrar no conceito de pequenas centrais nucleares (PCNs). A definição e a contextualização de PCNs em escala internacional é resumida. Esse é o cenário para que o trabalho apresente as PCNs como uma opção tecnológica para geração de energia elétrica de baixo carbono para o Estado de São Paulo, para além de 2050. Tal visão é contemplada no Plano Estadual de Energia do Estado de São Paulo 2050 (PEESP 2050), que propõe ampliações de escopo e de infraestrutura nas existentes

instalações nucleares já presentes no Estado de São Paulo e frutos do Programa Nuclear da Marinha do Brasil (PNM). A fundamentação e as análises críticas iniciais dessa proposta constituem a mensagem principal deste trabalho, cujo alcance pode transbordar as fronteiras estaduais e se transformar em tema relevante no plano nacional.

## Resultados

Além de compreensivas revisões históricas sobre a energia nuclear no mundo e no Brasil, que enfatizam essa forma de energia como solução não descartável nas estratégias de descarbonização das matrizes de geração elétrica de muitas nações, inclusive do Brasil, o principal resultado esperado deste trabalho é o mapeamento de uma proposta tecnológica alternativa e centrada em Pequenas Centrais Nucleares (PCNs). Os autores enfatizam a definição, a aplicabilidade e o interesse de muitas nações pelas PCNs. O estudo avança em propor a opção tecnológica de PCNs como estratégia de geração de energia elétrica de baixo carbono para o Estado de São Paulo para além de 2050. Essa construção apoia-se no histórico desenvolvimento, pela Marinha do Brasil, de um programa científico-militar nuclear, cujas instalações concentram-se fundamentalmente em território estadual paulista, e cujo eventual desdobramento pode conduzir ao um programa alternativo de geração nucleoeletrica a ser contemplado pelo Estado de São Paulo, mas também com eventuais alcances nacional e internacional, ampliando as opções energéticas do Brasil para além de 2050.

## Conclusões

O estudo e a concepção tecnológica de Pequenas Centrais Nucleares encontram-se acelerados em várias nações. Há um reconhecimento de que as PCNs representam um nicho em expansão no campo da geração nucleoeletrica. Esta, por sua vez, ainda é entendida como opção tecnológica não descartável e quiçá inevitável para as estratégias de descarbonização acelerada da matriz de geração elétrica de várias nações. No Brasil, o tema das PCNs não é desconhecido, mas também não tem ganho destaque nos debates sobre energia nuclear no país. Esses debates com frequência propõem a exploração de sinergias, difíceis de serem materializadas, entre as duas linhas de desenvolvimento nuclear existentes no Brasil, aquela da Eletronuclear, cujo objetivo principal é continuar a construção de ANGRA IIE, e o programa científico-militar da Marinha do Brasil, cujo foco continua a ser a propulsão nuclear para submarinos e eventuais outros equipamentos navais. Este trabalho contempla as PCNs como desdobramento natural do programa nuclear da marinha, buscando um desenvolvimento inicial para o Estado de São Paulo, porém sem desconsiderar que os alcances de uma tal estratégia podem ser muito maiores e alcançar os planos nacional e internacional.

## Referências

- EPE. PNE2050 - Plano Nacional de Energia. Empresa de Pesquisa Energética. 2021. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>
- IAEA. (2021). What are Small Modular Reactors (SMRs)? Viena: IAEA. Disponível em: <https://www.iaea.org/newscenter/news/what-are-small-modular-reactors-smrs>.
- INGERSOLL, D. T. (2009). Deliberately small reactors and the second nuclear era. *Progress in Nuclear Energy*, 51(4–5), 589–603. (<https://doi.org/10.1016/j.pnucene.2009.01.003>).
- LOCATELLI, G., & MIGNACCA, B. (2020). Small modular nuclear reactors. In *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet (Issue 2)*. Elsevier Ltd. (<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102886-5.00008-6>).
- MAIORINO, J. R. et al. Conversion of Small Modular Reactors Fuel to Use Mixed (U-Th)O<sub>2</sub> Fuel. 12th International Conference of the Croatian Nuclear Society. Anais. Zadar: 3 jun. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/325670194>.
- MIT ENERGY INITIATIVE. The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World. [s.l.: s.n.].
- MOUTINHO DOS SANTOS, E. Retrospecto da Política Nuclear no Brasil e Perspectivas de Utilização de Pequenas Centrais Nucleares - PCN - no Sistema Elétrico Brasileiro. Dissertação de Mestrado—[s.l.] Universidade Estadual de Campinas, 1992.