

## A Energia Nuclear em favor da descarbonização<sup>1</sup>

Nivalde de Castro<sup>2</sup>

Isadora Verde<sup>3</sup>

Pedro Ludovico<sup>4</sup>

No atual contexto da transição energética, o papel da energia nuclear vem ganhando uma nova dimensão estratégica em função da sua característica de produzir energia elétrica limpa. Segundo os dados estimados pela *International Energy Agency* (IEA) em um exercício de simulação, o uso desta fonte permitiu que o mundo evitasse a emissão de cerca de 66 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> nos últimos 50 anos. Todavia, diante da possibilidade de a energia nuclear contribuir com o processo de descarbonização, é necessário identificar as soluções para alguns dos desafios relacionados a essa fonte, os quais serão, aqui, analisados, diferenciando as usinas de grande porte dos pequenos reatores.

Centrais nucleares de geração de energia elétrica são construções de grande porte e demandam o cumprimento de numerosos e rigorosos procedimentos de segurança associados a salvaguardas internacionais, impostos pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) e a regulações específicas dos países onde estas plantas geradoras fazem parte das respectivas matrizes elétricas. Uma das principais preocupações do setor nuclear é a segurança em relação a acidentes, subordinando todos os empreendimentos a regulamentações e normas associadas à operação das usinas.

Destaca-se que tais normativas estão em constante transformação e adaptação, a fim de garantir o máximo de segurança dada a magnitude de eventuais acidentes, como demonstrado por Chernobyl e Fukushima. O aprimoramento dos padrões de segurança, contudo, impõe um aumento dos custos de construção e de operação.

---

<sup>1</sup> Artigo publicado pelo Broadcast Energia da Agência Estado de SP. Disponível em: <https://energia.aebroadcast.com.br/tabs/news/747/44275626>. Acesso em 16/03/2023

<sup>2</sup> Professor do Instituto de Economia da UFRJ e coordenador do GESEL- Grupo de Estudos do Setor Elétrico.

<sup>3</sup> Pesquisadora Júnior do GESEL-UFRJ

<sup>4</sup> Pesquisador Júnior do GESEL-UFRJ

Ademais, centrais nucleares são projetos complexos, capital intensivo e de longo prazo de maturação, cujo tempo médio de construção e comissionamento é, em média, de 12 anos. Deste modo, devido ao longo prazo necessário até a entrada de fluxos de caixa, os custos de capital associados aos projetos são elevados, representando cerca de 60% do custo nivelado da energia nuclear.

Por outro lado, a alta densidade de energia gerada pelas usinas nucleares resulta em um uso mais eficiente e intensivo das plantas que funcionam ininterruptamente 11 meses por ano. Ou seja, uma pequena quantidade de combustível pode produzir uma grande quantidade de energia, o que diminui o custo variável da geração.

Assim, nota-se que, apesar dos altos custos associados à construção, aos bens de capital sob encomenda e custo do capital, os custos operacionais da energia nuclear são relativamente baixos a longo prazo, devido ao baixo custo de combustível e à capacidade de manter altos níveis de eficiência. Neste sentido, uma análise comparativa dos custos operacionais de usinas nucleares e de outras fontes de geração de energia elétrica destaca a sua importância frente à segurança do suprimento e ao fato, relevante no contexto da transição, de não emitir gases de efeito estufa.

No entanto, uma variável extra e de incerteza dos custos das usinas nucleares está associado ao fim da sua vida útil, o que obriga a sua desativação e o armazenamento seguro de todos os componentes e resíduos radioativos. O processo de desativação de usinas nucleares é altamente regulamentado e deve ser realizado de acordo com rigorosos padrões de segurança para garantir a proteção da saúde pública e do meio ambiente. Mas são custos elevados e de difícil previsão no início do empreendimento, dado que as exigências são crescentes.

Deste breve e objetivo enquadramento analítico em relação às usinas nucleares tradicionais, isto é, de grande porte, pode-se concluir que elas apresentam custos fixos elevados e um componente de custo variável e imprevisível relativo ao seu desmonte e armazenamento *ad infinitum*.

Como alternativa às grandes centrais nucleares, destaca-se no cenário tecnológico uma inovação disruptiva denominada pequenos reatores modulares (SMRs, na sigla em inglês), ainda em processo de desenvolvimento e sem uma rota tecnológica consolidada. Os SMRs implementados no mundo são majoritariamente projetos-piloto com diferentes rotas tecnológicas em teste. Dos 71 projetos que existem atualmente, mais da metade se encontra em fase de desenho e somente três estão em operação. No entanto, os SMRs apresentam um potencial consistente de superar as dificuldades e os custos das usinas nucleares convencionais, resumidos anteriormente. Assim, passa-se a analisar as características e vantagens competitivas dos SMRs.

Por se tratarem de reatores de menor porte, os custos necessários para a sua construção, instalação e operação são economicamente mais vantajosos, como se pode identificar a partir de cinco características: (i) redução do tempo de construção; (ii) custo de capital inferior, devido ao menor prazo de maturação; (iii) possibilidade de produção em série dos equipamentos; (iv) custos bem inferiores de descomissionamento e armazenamento dos resíduos nucleares; e (v) possibilidade de integração aos sistemas elétricos de uma forma muito mais flexível, com menores problemas e custos em relação ao licenciamento ambiental e maior disponibilidade de sítios para sua instalação.

Do ponto de vista da dinâmica da economia industrial, há condições mais factíveis de criação de uma cadeia produtiva em países como o Brasil, o que traz vantagens competitivas em função das economias de escala, da geração de emprego e da renda em grau de intensidade e capilaridade nitidamente superior às usinas nucleares tradicionais.

Nestes termos, e a título de conclusão, a energia nuclear volta ao cenário do planejamento estratégico mundial em decorrência de dois vetores estratégicos e complementares. O primeiro é ser uma energia limpa e relevante para a descarbonização, contribuindo com alma e força às engrenagens da transição energética. Já o segundo está associada à segurança do suprimento de energia, seja em razão da crise da Ucrânia, que demonstrou a gravidade desta exposição e risco, seja pela necessidade de fontes firmes para dar sustentação e flexibilidade aos sistemas elétricos, derivados do rápido e irreversível avanço das energias solar e eólica na matriz elétrica mundial.

Porém, os investimentos em grandes usinas nucleares apresentam características de custos afundados em vida e *post mortem* muito elevados, com o agravante dos riscos de acidentes, os quais, mesmo pouco frequentes, ficaram marcados no imaginário social por suas consequências catastróficas.

Como alternativa, de certa forma impulsionada pela transição energética, os SMRs ganham relevância. Mesmo sendo uma tecnologia embrionária e que ainda não apresenta rotas tecnológicas definidas em termos de processos e combustíveis, os SMRs, conforme analisado neste artigo, possuem vantagens para ganhar mercado rapidamente, em especial quando esta indústria nascente escalar.

Para o Brasil, com um sistema interligado de dimensão continental e uma das matrizes mais renováveis do mundo, os SMRs certamente irão proporcionar uma maior flexibilidade e segurança operacional, sem impactar o meio ambiente. Por fim, vislumbra-se a vantagem de sua cadeia produtiva poder se desenvolver utilizando as bases industrial e tecnológica nacional, além das reservas de urânio que o Brasil conseguiu estruturar desde o acordo nuclear com a Alemanha, firmado em 1975. Esta linha analítica deve ser considerada na revisão dos estudos que respaldam o

Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE) elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE)