

**PEQUENOS REATORES NUCLEARES COMO INDUTORES DA TRANSIÇÃO
ENERGÉTICA BRASILEIRA**

**SMALL NUCLEAR REACTORS AS DRIVERS OF THE BRAZILIAN ENERGY
TRANSITION**

**PEQUEÑOS REACTORES NUCLEARES COMO IMPULSORES DE LA TRANSICIÓN
ENERGÉTICA BRASILEÑA**

 <https://doi.org/10.56238/arev7n8-108>

Data de submissão: 12/07/2025

Data de publicação: 12/08/2025

Fabíola Guimarães Monteiro Lêdo

Doutora em Comunicação Social

Instituição: Universidade Paulista

Endereço: São Paulo, Brasil

E-mail: fabiolaledo72@gmail.com

Antonio Adami

Doutor em Semiótica e Linguística

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: São Paulo, Brasil

E-mail: antonioadami@uol.com.br

Alexandre David Caldeira

Doutor em Tecnologia Nuclear

Instituição: Universidade de São Paulo

Endereço: São Paulo, Brasil

E-mail: adcald31ra@gmail.com

RESUMO

Neste artigo a nossa análise se concentrará na possibilidade de aquisição ou no desenvolvimento de pequenos reatores nucleares (small modular reactors) no âmbito Brasil. Oferece uma perspectiva dos benefícios e impactos das formas de energias atuais para a população, respalda os benefícios da energia nuclear como energia limpa desmistificando seu poder bélico e aponta caminhos para o País efetivar a transição energética de forma sustentável. O artigo se insere com base teórica em Jonathan Tennenbaum em relação ao histórico de consolidação da tecnologia nuclear. Recomenda-se a conclusão dos projetos atuais em andamento e o desenvolvimento e a construção de pequenos reatores nucleares modulares para induzirem a transição energética brasileira, na busca da descarbonização.

Palavras-chave: Energia Nuclear. Geração de Energia Elétrica. Pequenos Reatores Modulares. Propulsão Nuclear.

ABSTRACT

In this article, our analysis will focus on the possibility of acquiring or developing small modular nuclear reactors in Brazil. It offers an overview of the benefits and impacts of current energy sources for the population, supports the benefits of nuclear energy as a clean energy source, demystifying its military potential, and points to ways for the country to achieve a sustainable energy transition. The

article is based on Jonathan Tennenbaum's theoretical framework regarding the history of nuclear technology consolidation. It recommends the completion of current projects and the development and construction of small modular nuclear reactors to drive Brazil's energy transition toward decarbonization.

Keywords: Nuclear Energy. Electric Power Generation. Small Modular Reactors. Nuclear Propulsion.

RESUMEN

En este artículo, nuestro análisis se centrará en la posibilidad de adquirir o desarrollar pequeños reactores nucleares modulares en Brasil. Ofrece una visión general de los beneficios e impactos de las fuentes de energía actuales para la población, respalda los beneficios de la energía nuclear como fuente de energía limpia, desmitifica su potencial militar y señala las vías para que el país logre una transición energética sostenible. El artículo se basa en el marco teórico de Jonathan Tennenbaum sobre la historia de la consolidación de la tecnología nuclear. Recomienda la finalización de los proyectos actuales y el desarrollo y la construcción de pequeños reactores nucleares modulares para impulsar la transición energética de Brasil hacia la descarbonización.

Palabras clave: Energía Nuclear. Generación de Energía Eléctrica. Reactores Modulares Pequeños. Propulsión Nuclear.

1 INTRODUÇÃO

A melhora da qualidade de vida da população brasileira, a elevação do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e a ampliação do parque industrial passam efetivamente pela oferta de energia elétrica. Para ilustrar essa afirmação, é apresentada na Figura 1 uma foto noturna do Brasil, registrada da Estação Espacial Internacional onde destaca-se a Região Sudeste, iluminada, principalmente o Estado de São Paulo.

Figura 1: Imagem do Brasil vista da Estação Espacial Internacional



Foto: Estação Espacial Internacional (ISS)

Desse modo, um dos objetivos apresentados nesse artigo foi compreender a interação de propagar os resultados dos estudos das pesquisas nucleares de importância estratégica para o País. Para tanto, apurou-se as fontes de energia das regiões do Brasil, suas características naturais e econômicas. Considerando que o Brasil diversifica suas fontes de energias por região, na busca de minimizar os impactos naturais e econômicos. Nesse contexto, fontes energéticas se fazem presente no Brasil na forma de energia solar, energia eólica, energia hidroelétrica e energia nuclear, caminhos exponenciais na busca do equilíbrio energético do País, de acordo com as características sociais, econômicas e dos aspectos geográficos das regiões no País.

Como especificidades e impactos sociais e ambientais da energia utilizada em diferentes regiões do Brasil, podem ser mencionadas: a Região Norte (Hidrelétrica), Usina Belo Monte e Usina Tucuruí; desmatamento, desequilíbrio no ecossistema e projeção de metano; impacto social no modo de viver ao considerar a construção de barragens; a Região Sul (Hidrelétrica / Eólica / Biomassa / Termoelétricas). As termoelétricas ao usarem carvão vêm a gerar impactos ambientais com poluição e

gases de efeito estufa. Referente à energia eólica, mesmo sendo uma fonte limpa, tem causado impactos na fauna; a Região Centro-Oeste (Hidrelétricas / Termoelétricas (Biomassa/Gás Natural) /Energia Solar), com impactos no curso das águas e inundações. Já a produção da biomassa promove o desmatamento e à perda de biodiversidade; a Região Nordeste (Eólica / Solar Hidrelétricas / Termoelétricas), com grande potencial eólico e solar, contribui na redução dos gases de efeito estufa, a energia renovável eólica pode vir a causar impacto na fauna da região. Quanto às termoelétricas impulsionadas pela biomassa ou gás natural, podem vir a gerar poluição em escala menor das movidas a carvão ou combustível; a Região Sudeste (Hidrelétrica / Termoelétricas / Energia Nuclear - Usina de Furnas). Ao ponderar a industrialização da Região Sudeste numa combinação de energia nuclear, hidrelétrica e termoelétrica, o gás natural tem impacto ambiental em termos de emissões de CO₂ em contrapartida ao carvão e ao óleo combustível. Já a emissão de CO₂ é considerada baixa ao se tratar de energia nuclear, porém com os desafios do armazenamento dos resíduos e remotos acidentes.

Acreditamos que todas as formas de geração de energia elétrica devam ser usadas criteriosamente para melhorar a qualidade de vida da população brasileira. Entretanto, nesse artigo, nossa análise se concentrará na produção de energia elétrica por meio de reatores nucleares.

A motivação para a realização desse estudo foram matérias veiculadas na internet, onde em uma delas é citada a possível aquisição de um Pequeno Reator Modular (do inglês Small Modular Reactor - SMR) russo que atenderia as necessidades de abastecimento das regiões remotas.

Pretende-se neste artigo elencar os prós e os contras para o País em adquirir ou desenvolver pequenos reatores nucleares modulares para complementar o seu parque energético.

2 CENÁRIO ATUAL ENERGÉTICO

De acordo com o canal Sputnik Brasil “De olho na transição energética, o governo federal instituiu, por meio do Ministério de Minas e Energia, o programa Energias da Amazônia, que se propõe a ser o maior de descarbonização do mundo” (Acácio, 2024, p.1). Salientando que “Para resolver o uso de termelétricas para atender à comunidades isoladas, o Brasil deveria apostar na implementação de pequenos reatores modulares?” (Acácio, 2024, p.1).

O Brasil, considerado o País com matriz energética mais renovável entre as maiores economias do mundo, faz com que o governo trabalhe na redução do óleo diesel na produção de energia na região Amazônica, embasado pelo programa Energias da Amazônia.

Por meio de decreto, o governo criou o Programa Energias da Amazônia “investimentos em ações e projetos nos Sistemas Isolados localizados na região da Amazônia Legal destinados a reduzir a geração de energia elétrica por meio de combustíveis fósseis e a contribuir para a qualidade da energia

elétrica” (Acácio, 2024, p.2). Nesse cenário, o ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira, defende a implementação de pequenos reatores modulares (SMR, na sigla em inglês). Assim,

liderar a transição energética no mundo: a "missão" é almejada por diversos atores do primeiro escalão do governo federal. A iniciativa já foi defendida pelo vice-presidente e ministro do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, Geraldo Alckmin, e pela ministra da Ciência, Tecnologia e Inovação, Luciana Santos, além do próprio presidente Luiz Inácio Lula da Silva (Acácio, 2024, p.1).

De acordo com o Dr. Leonam Guimarães, diretor técnico da Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN), os SMRs representam vantagem devido à sua flexibilidade, segurança e menor custo inicial de investimento (Acácio, 2024, p.1).

Importante salientar que o Brasil está inserido entre os países que detêm a cadeia de urânio, denotando a importância de maior investimento do governo positivamente na produção econômica do País.

3 CARACTERÍSTICAS DOS SMRs

A nossa análise se concentra na possibilidade de aquisição ou no desenvolvimento de pequenos reatores nucleares como possível solução de complementação da malha energética ou utilização em pontos remotos no Brasil, para gerar energia, aquecer as linhas de transmissão de petróleo no fundo do oceano, para iluminar pistas de pouso em regiões remotas como na Amazônia, ou também alimentar a base Comandante Ferraz na Antártica.

Nessa nova conjuntura política de reestruturação, o Brasil aposta nos pequenos reatores modulares (SMRs, na sigla em inglês), com a proposta de descarbonização do mundo e, nesse contexto, cria o Programa Energias da Amazônia. Esse Programa marca um novo ciclo de desenvolvimento ao buscar implementar os reatores. Para a propagação dos conhecimentos e estudos das ciências modulares, o reator se faz presente, focado na transição energética. Em comparação aos reatores tradicionais, os SMRs são projetados para gerar eletricidade de forma mais flexível e econômica. Por serem reatores nucleares de pequena escala, são caracterizados por sua modularidade. Considerados fontes de energia contínua para regiões remotas, tornam-se fonte de energia confiável ao considerar a capacidade operacional, que independe de extensas redes elétricas.

Liderar a transição energética no mundo se faz presente e necessário, considerando que o Brasil, de acordo com Acácio (2024), durante narrativa no canal Sputnik News, fala: “o Brasil é **o país com matriz energética mais renovável entre as maiores economias do mundo**. Através do programa

Energias da Amazônia, por exemplo, o governo busca reduzir o uso de óleo diesel na produção de energia na região” (Acácio, 2024, p.1).

Assim, faremos um breve apanhado das vantagens e utilizações dos pequenos reatores nucleares. Vantagens: A estrutura modular propicia economia na construção em escala, aumento na geração da energia elétrica conforme demanda local, além da disponibilização de energia nas dimensões continentais do País. Utilizações: pequenas usinas elétricas em diversificadas localizações, inclusive remotas ou de difícil acesso; propulsão naval, submarino, produção de rádio fármacos, tanto para diagnóstico como tratamento de diversas enfermidades.

4 PROJETOS NUCLEARES EM ANDAMENTO NO PAÍS

A seguir são apresentados, resumidamente, os principais projetos em andamento na área nuclear no País.

4.1 ANGRA 3

De acordo com a Eletro Nuclear_Energia Limpa

Atualmente em construção, Angra 3 será a terceira usina da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (CNAAA). Com potência de 1.405 megawatts, a nova unidade será capaz de gerar mais de 12 milhões de megawatts-hora por ano, o suficiente para atender 4,5 milhões de pessoas. Deste modo, a energia nuclear passará a gerar o equivalente a 60% do consumo do estado do Rio de Janeiro e 3% do consumo do Brasil (Eletro Nuclear, 2024, p.1).

Conforme explanação da Eletro Nuclear, Angra 3 prevê entrar em operação no ano de 2028, operando com confiabilidade e garantia no abastecimento do sistema elétrico brasileiro. Ressaltando que “as usinas nucleares não emitem gases responsáveis pelo efeito estufa, ao contrário das termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Portanto, a usina terá impacto ambiental mínimo e vai gerar energia limpa” (Eletro Nuclear, 2024, p.2).

Vale destacar que a usina de Angra 3 irá promover a diversificação da matriz elétrica e a redução dos custos do Sistema Interligado Nacional (SIN).

4.2 LABORATÓRIO DE GERAÇÃO NUCLEOELÉTRICA (LABGENE)

De acordo com o Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP),

Para a operação do submarino nuclear, a Marinha do Brasil está construindo, no Centro Experimental Aramar, o Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (LABGENE), que será utilizado para validar as condições de projeto e ensaiar todas as condições de operação possíveis para uma planta de propulsão nuclear (Marinha do Brasil, 2024, p.1).

4.3 REATOR MULTIPROPÓSITO BRASILEIRO (RMB)

O RMB é um reator nuclear de pesquisa multipropósito cujo objetivo principal é a produção de radioisótopos, que são a matéria prima para a produção de rádio fármacos usados na Medicina Nuclear no diagnóstico e tratamento de diversas enfermidades.

5 FISSÃO NUCLEAR NA DUALIDADE

Para melhor compreensão do tema, cabe tecer algumas considerações sobre a geração de energia nuclear. Hoje a fissão do átomo de urânio é considerada como a principal técnica empregada para a geração de eletricidade em usinas nucleares, o núcleo atômico divide-se em duas ou mais partículas, aproveitando a energia cinética desses fragmentos para a produção de eletricidade. Assim, a fissão nuclear é apontada como uma alternativa limpa e eficiente na promoção de energia, preferivelmente por não emitir gases. Centrais nucleares são usadas, hoje, no Japão, França, Alemanha, Estados Unidos, China, Rússia, Índia, Coréia do Sul, Canadá, Argentina e México. Ao considerarem a aplicação do processo de fissão na geração de energia elétrica evitam o seu emprego em armas de destruição em massa.

Desenhar papéis cruciais no desenvolvimento da Energia Nuclear, hoje no Brasil se faz necessário com a máxima urgência. Com a revolução da Física Nuclear, as pesquisas vêm abrindo caminhos duais tanto para o uso da radioatividade na medicina, para o diagnóstico e tratamento do câncer, inclusive na conservação de alimentos na indústria, no controle de pragas, na arqueologia, ou seja, diversificados segmentos. Muitos são os benefícios além da geração de energia elétrica. Pensar em fissão nuclear na geração de energia elétrica se tornaria impossível sem as descobertas pioneiras do átomo de urânio.

O átomo de urânio, isótopo urânio-235 (U-235), é classificado como o principal elemento usado em usinas nucleares. Relevante como elemento pesado, o U-235 é ponderado como uma forma físsil e, consequentemente, rara, fato que explica a sua capacidade de divisão em partes menores, fissão nuclear, ao ser bombardeado com nêutrons. Liberada na fissão, a energia cinética transformada em calor gera vapor que movimenta as turbinas e geram eletricidade.

Utilizado em usinas nucleares, o urânio apontado como combustível de custo reduzido não preocupa quanto ao risco de escassez em médio prazo. A substituição de usinas térmicas por usinas nucleares é um tema relevante dentro do debate público sobre a transição energética e o impacto ambiental das diferentes fontes de geração de energia.

A própria história da Energia Nuclear, a concepção nuclear brasileira, teve o seu desenvolvimento entre as décadas de 1950 e 1960, quando teve início o processo de enriquecimento

de urânio. O urânio natural apresenta cerca de 0,7% de U-235 e 99,3% de U-238, um isótopo fértil. Para ser usado em usinas nucleares, o urânio-235 precisa ser enriquecido, aumentada a concentração de U-235 para cerca de 3% a 5%. “Entre os países importadores da tecnologia alemã estava o Brasil, que em 1975 assinaria o polêmico Acordo de Cooperação Nuclear” (Brandão, 2008).

Nesse cenário, o urânio-235 é essencial para o funcionamento de reatores nucleares ao considerar a sua capacidade de sustentar reações nucleares em cadeia controlada. As reações em cadeia de fissão nuclear autossustentadas limitam-se a algumas substâncias raras, isótopos do urânio ou plutônio; elas só ocorrem sob condições extraordinárias e não se transmitem a outras substâncias.

Nesse contexto, Tennembaum aborda em seu livro “A Economia dos Isótopos”, a existência de indivíduos elementares ainda desconhecidos. Num cenário de centenas de isótopos, na maioria gerada artificialmente, o uso comercial se faz presente em áreas que abrangem desde a medicina à preservação de alimentos. Sem o uso dos isótopos radioativos produzidos em reatores nucleares e aceleradores de partículas, a sociedade não se beneficiaria dos incontáveis avanços no conhecimento dos processos que ocorrem no núcleo do átomo e nas tecnologias que a fissão e fusão nuclear prometem, com perspectivas de criação e utilização de novos isótopos em holísticas áreas com novas fontes de energia, abastecimento de água, entre outros. Referida revolução científica, cultural, socioeconômica e tecnológica, com potencial de eliminar o equivocado conceito de “LIMITE” para o desenvolvimento da humanidade, Tennenbaum, pautou “A Economia dos Isótopos”, fundamentado no livro.

O domínio insipiente pelo homem do poder de transmutar elementos químicos e de criar novos estados da matéria que antes não existiam na Terra e, talvez nem mesmo no universo, demonstra uma vez mais que vivemos no universo de Platão e não no de Aristóteles. Trata-se de um universo em que os processos são primários, em que “nada é permanente, a não ser a transformação”, em que ao tratar de coisas tais como átomos e as assim chamadas partículas elementares, temos que falar, não sobre um “isto”, mas sobre um “assim” (como Platão escreveu no Timeu). Mais do que em qualquer “estado de fase” prévio da economia física da humanidade, o advento do que chamo “Economia dos Isótopos” significa uma situação em que a prática social terá que ser necessariamente orientada para “ideias verdadeiras”, para os princípios universais passíveis de descobertas que regem as mudanças e a evolução do universo, e não primordialmente para os objetos dos sentidos. Isto significa o fim do empirismo e do materialismo. - Jonathan Tennenbaum – no livro: A Economia dos Isótopos-Capítulo 1, (Tennenbaum, Cap.1, 2007).

A partir de então, um lado ocupa a própria história da Energia Nuclear, e outro que, nos coloca numa viagem relacional entre qualidade de vida e consumo de energia elétrica, nos leva ao ponto focal das questões ideológicas, políticas e sociais, ardoroso em várias sociedades ao redor do mundo contemporâneo.

6 AQUISIÇÃO X DESENVOLVIMENTO DE SMRs

Inicialmente, antes de começarmos a discorrer sobre o título desta seção, é necessário concluir os projetos nucleares em andamento. Finalizar Angra 3, que é um reator de grande porte, e entregá-la à malha energética e acelerar a conclusão do Laboratório de Geração Nucleoelétrica (LABGENE), um pequeno reator usado para propulsão naval, além do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), que também é um pequeno reator e, cujo objeto principal será a produção de radiofármacos utilizados em Medicina Nuclear.

Quando usamos qualquer produto de outro país, todo o conhecimento adquirido e toda a tecnologia desenvolvida pertencem ao país de origem. Assim, acreditamos que após a conclusão do LABGENE e do RMB possuiremos toda a expertise necessária para propormos e construirmos um SMR perfeitamente adequado às necessidades nacionais.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste artigo, foi dissertada uma análise aplicada ao setor nuclear, que pode auxiliar o planejamento orçamentário. Acredita-se que a conclusão dos projetos nucleares em andamento seja a melhor estratégia a ser seguida, ao invés da aquisição de novos reatores nucleares.

Espera-se, também, que após a conclusão desses projetos o País possua a expertise necessária para projetar e construir seus próprios SMRs.

Antevemos dois caminhos para o País efetivar a transição energética de forma sustentável: o primeiro, é a implementação das propostas apresentadas neste trabalho que podem representar um renascimento da Energia Nuclear no Brasil, provocando um arrasto em toda cadeia produtiva, desde a mineração em Caetité na Bahia até as Universidades espalhadas por todo o País, passando pelo parque industrial; o segundo, é que a Energia Nuclear se torne um projeto de Estado e não de governo.

A incansável busca pela compreensão dos benefícios do desenvolvimento nuclear brasileiro foca nas questões políticas, científicas e ideológicas, de nosso tempo.

O artigo busca desmistificar o poder bélico se concentrando no uso pacífico da energia nuclear, que levou ao desenvolvimento de armas destrutivas, protagonizadas em guerras que marcam profundamente a história ainda nos dias atuais. Cenários de guerra, como os que testemunhamos entre Ucrânia e Rússia, onde países como a Coréia do Norte amiúde anuncia o potencial de uso de armas nucleares em declarações políticas e estratégicas. Apontam seu poder devastador das armas nucleares para destruição em massa e coerção geopolítica. Importante salientar que a corrida armamentista nuclear trouxe benefícios no incremento das pesquisas relacionadas ao domínio do átomo e, consequentemente o seu emprego em outras áreas como matriz energética, medicina etc. Esse período,

entretanto, mostrou-se um dos mais expressivos das bases da Energia Nuclear, relacionados à história com efetivos aspectos da ciência. Porém, hoje o foco da energia nuclear muda. Busca-se a paz numa corrida transicional Brasileira de olho na descarbonização.

Desmistificar a energia nuclear ao apontar a substituição de usinas térmicas por usinas nucleares pode trazer, principalmente, em termos de redução de emissões de gases de efeito estufa e poluentes atmosféricos, benefícios significativos ambientais. Para isso, é essencial ponderar os diversos desafios associados à gestão de resíduos nucleares e aos riscos de acidentes. Os desafios também precisam ser resolvidos, considerando que abandonar o problema não simboliza a melhor solução.

A substituição de usinas térmicas por usinas nucleares é um tema relevante dentro do debate sobre a transição energética e o impacto ambiental das diferentes fontes de geração de energia.

A conscientização sobre os benefícios e os problemas da Energia Nuclear representa um papel fundamental em sua aceitação pela população. Informar para desmistificar.

REFERÊNCIAS

ACÁCIO, Davi Carlos. Pequenos reatores nucleares na Amazônia: tecnologia russa ajuda o Brasil na transição energética? SPUTNIK Brasil, 28.06.2024. <https://noticiabrasil.net.br/20240628/pequenos-reatores-nucleares-na-amazonia-tecnologia-russa-ajuda-o-brasil-na-transicao-energetica-35349558.html>

BRANDÃO, Rafael Vaz da Motta. O Negócio do Século: O acordo de cooperação nuclear Brasil – Alemanha, 2008.

BRASIL. Eletro Nuclear. Angra 3, 2024. Disponível em <https://www.eletronuclear.gov.br/Nossas-Atividades/Paginas/Angra-3.aspx>

BRASIL. Marinha do Brasil. Laboratório de Geração Nucleoelétrica, 2024. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ctmsp/labgene>

TENNENBAUM, Jonathan. A Economia dos Isótopos. Rio de Janeiro: Capax Dei Editora Ltda, 2007.