



lab.pex

em parceria com



É hora de retomar a aposta em energia nuclear: experiências no mundo e no Brasil

27 de julho, 2026

“

Além da descarbonização, o tema da segurança energética se faz patente com a Guerra na Ucrânia e a Guerra contra o Irã, reforçando a oportunidade da retomada de investimento em energia renovável e nuclear. Depender menos de energias fósseis é uma meta de diversos países, não só por causa do Clima, mas também visando assegurar acesso a recursos energéticos com capacidades próprias, sobretudo aqueles que importam hidrocarbonetos.”

Policy Paper

INTRODUÇÃO

Após um período de desaceleração decorrente do acidente de Fukushima (2011) diversos países passaram a reconsiderar o papel da energia nuclear como fonte de baixa emissão de carbono e elevada estabilidade sistêmica. Segundo relatório de 2025 da Agência Internacional de Energia (IEA, na sigla em inglês), a geração nuclear global deverá passar por uma expansão nos próximos anos, impulsionada sobretudo pela expansão chinesa e pelo desenvolvimento de novas tecnologias, como os Pequenos Reatores Modulares (SMRs na sigla inglesa).

A COP 28 (2023), realizada em Dubai, reforçou essa tendência ao defender a multiplicação da capacidade nuclear global em 3x até 2050. Além disso, dentre as fontes de baixa emissão de carbono, a nuclear é a segunda que mais gera eletricidade (atrás apenas de fontes hidroelétricas), de tal modo, em 2023 os reatores em operação pouparam a emissão de 1,5 Gt de CO2, redução equivalente a cerca de 10% de toda emissão global para geração de eletricidade (IEA, 2023). Países como França e Finlândia reforçaram seus programas nucleares não só por razões climáticas, mas também geopolíticas, em especial após os impactos da guerra na Ucrânia. Ao mesmo tempo, os EUA reformularam sua estratégia para o setor nuclear como parte da Estratégia de Segurança Nacional de 2025.

Embora as fontes renováveis, sobretudo eólica e solar, tenham expandido sua participação na matriz elétrica global, persistem desafios estruturais como o curtailment (situação em que parte da energia elétrica gerada precisa ser desperdiçada devido à incapacidade da rede em absorver a produção excedente), fenômeno que tem se tornado recorrente em vários países, inclusive no Brasil. Soluções tecnológicas como o Sistema de Armazenamento de Energia por Baterias (BESS, na sigla em inglês) estão sendo aprimoradas para resolver este desafio. Mas, diferente destas fontes, a energia nuclear apresenta elevada capacidade de geração contínua e é capaz de operar de maneira ininterrupta, além de oferecer estabilidade às redes elétricas existentes.

No entanto, o acesso à tecnologia nuclear é um desafio. China e Rússia consolidaram-se como os principais pólos da indústria nuclear mundial concentrando os novos projetos e oferta de tecnologia. Entre 2017 e 2024, dos 52 reatores com construção iniciada, 48 utilizaram projetos chineses (25) ou russos (23), evidenciando a predominância desses dois países no mercado internacional (IEA, 2025).

A expansão da energia nuclear também recoloca o urânio no centro da competição geopolítica internacional. Embora a geração nuclear seja considerada uma fonte de baixa emissão de carbono, o urânio é um recurso não renovável, cuja disponibilidade depende da exploração de reservas minerais geograficamente concentradas. A retomada dos investimentos tende a ampliar o consumo para 77 mil toneladas até 2030, um quarto acima dos níveis atuais. Em 2022, quatro países responderam por mais de três quartos da produção mundial de urânio: Cazaquistão (43%), Canadá (15%), Namíbia (11%) e Austrália (9%) (IEA, 2025). Observa-se que, em 2025, o urânio voltou a ser listado como mineral crítico nos EUA em razão de sua importância para a segurança nacional e da elevada dependência de importações.

O setor nuclear integra uma agenda mais ampla de segurança energética, política industrial, inovação tecnológica e competição geopolítica, envolvendo desde o controle das reservas de urânio até o domínio do ciclo do combustível nuclear e das tecnologias de reatores. Além disso, o uso da tecnologia nuclear tem diversas aplicações como defesa (armas e combustível para submarino), medicina, aquecimento e energia elétrica. Iremos focar neste último e, à luz desse contexto, iremos avaliar as experiências dos quatro principais produtores (ver Tabela 1) de energia elétrica através da tecnologia nuclear: EUA, França, Rússia e China que evidenciam diferentes estratégias nacionais de desenvolvimento do setor, cujas lições podem subsidiar o aperfeiçoamento da política energética e tecnológica brasileira.

Tabela 1: Energia nuclear: participação interna e externa na geração de energia elétrica (2024)

País	Participação nuclear na geração elétrica	Reatores em operação	Geração absoluta de energia elétrica via fontes nucleares	Participação na geração elétrica global nuclear
Estados Unidos	19%	94	816 TWh	30,5%
China	5%	60	435 TWh	16,3%
França	67%	57	380 TWh	14,2%
Rússia	19%	34	217 TWh	8,1%
Brasil	2%	2	15,8 TWh	0,6%

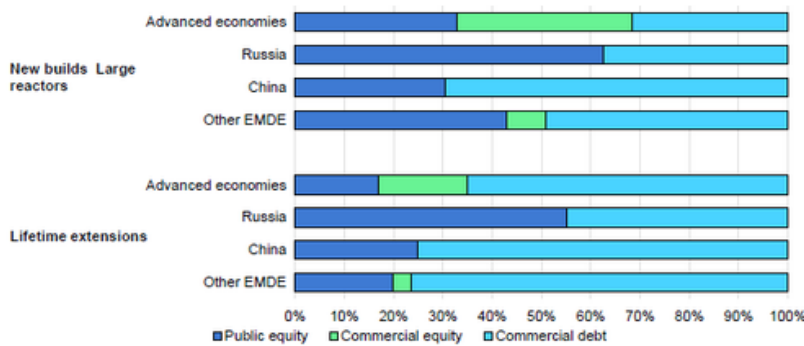
Fonte: World Nuclear Association e International Atomic Energy Agency (IAEA)

A energia nuclear no mundo: estudos de caso

Embora apresentem estratégias distintas, as principais potências nucleares compartilham algumas características estruturais: utilizam a energia nuclear como instrumento de segurança e autonomia energética, política industrial, descarbonização e projeção internacional, contando, em maior ou menor grau, com participação do Estado no financiamento (ver Gráfico 1), regulação e coordenação dos investimentos. Ao mesmo tempo, diferenciam-se quanto ao domínio do ciclo do combustível nuclear, acesso às reservas de urânio, capacidade tecnológica, desenvolvimento de reatores avançados e inserção nas cadeias globais de fornecimento. Assim, a análise dos casos dos EUA, França, Rússia e China será estruturada a partir de cinco dimensões:

- (i) o arranjo institucional e o papel do Estado;
- (ii) o domínio do ciclo do combustível nuclear e o acesso às matérias-primas;
- (iii) a importância da energia nuclear para a matriz elétrica nacional;
- (iv) a capacidade de desenvolver e exportar tecnologias nucleares;
- (v) os principais desafios e perspectivas para o setor, buscando identificar lições aplicáveis ao contexto brasileiro.

Gráfico 1: Origem de financiamento para novos reatores de larga escala e expansões de tempo de vida útil por país/região (2023)



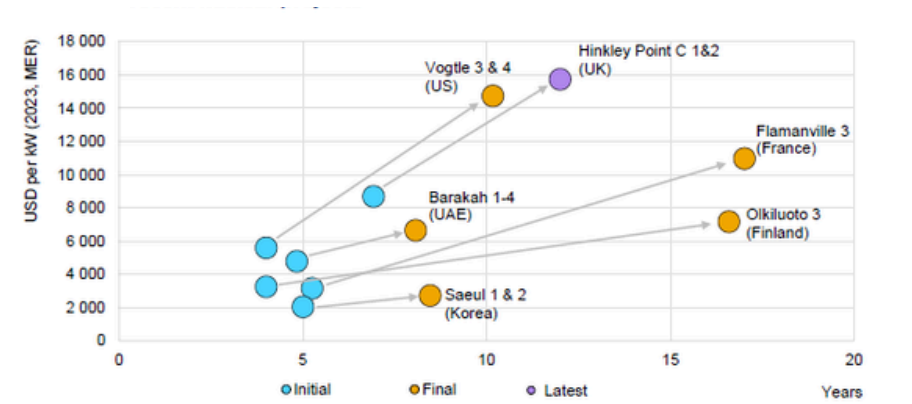
EMDE - Economias de Mercado Emergente e em Desenvolvimento
Nota: o financiamento de bancos estatais é classificado como comercial
Fonte: análise da IEA com base nas bases de dados Capital IQ e IJ Global (acessados em janeiro de 2025)

Os Estados Unidos

Os EUA ainda lideram a geração mundial de energia nuclear, respondendo por cerca de 31% da eletricidade nuclear produzida no mundo, com 94 reatores em operação. A energia nuclear representa aproximadamente 19% da geração elétrica estadunidense, desempenhando papel estratégico para a segurança energética e a descarbonização (World Nuclear Association, 2024). Esse protagonismo decorre do pioneirismo do país no desenvolvimento da energia nuclear civil desde a década de 1950, impulsionado pela iniciativa Átomos para a Paz, que consolidou sua liderança tecnológica ao longo da Guerra Fria.

O arranjo institucional estadunidense caracteriza-se pelo protagonismo da iniciativa privada na construção e operação das usinas, combinado com forte atuação do governo federal na regulação, no financiamento e na mitigação dos riscos dos investimentos. Embora empresas privadas liderem os empreendimentos, os projetos nucleares dependem de garantias públicas, estabilidade regulatória e mecanismos de compartilhamento dos elevados riscos de construção. Na década de 1980 vários fatores levaram à desaceleração dos projetos, principalmente o acidente de Three Mile Island (1979), a maior competitividade do gás natural e aumento dos custos de construção. No Gráfico 2 vemos o caso da usina de Vogtle (2023) que ilustra o desafio: primeiro projeto nuclear finalizado no país em mais de três décadas, sofreu atrasos significativos e seu custo estimado aumentou de aproximadamente US\$ 5.600/kW para US\$ 14.700/kW, evidenciando as dificuldades enfrentadas pelas economias avançadas na implantação de grandes reatores.

Gráfico 2: Custo de capital estimado e final e tempo de construção para projetos nucleares selecionados recentes



Notas: kW = quilowatt; MER = taxa de câmbio de mercado. As estimativas de custo não incluem juros. Considera-se a capacidade bruta instalada. O tempo de construção refere-se ao período entre o início da construção e a conexão à rede. Para as usinas aqui apresentadas com múltiplos reatores, considera-se o tempo médio de construção. A construção de Hinkley Point C está em andamento. Fonte: IEA 2023

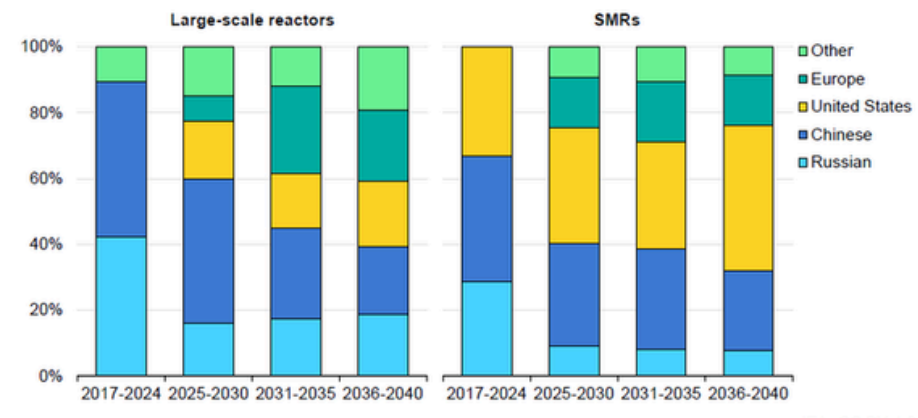
Não obstante, nos últimos anos, a política nuclear estadunidense voltou a ganhar impulso. O Infrastructure Investment and Jobs Act (2021) ampliou o apoio federal ao setor, incluindo recursos para o Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP), iniciativa do Ministério de Energia (DOE, na sigla inglesa) que destina mais de US\$ 3 bilhões ao desenvolvimento de SMRs e outras tecnologias avançadas (IEA, 2025, p. 29).

Em 2025, governo Trump reforçou essa estratégia ao assinar as ordens executivas 14300, 14301 e 14302 (White House, 2025), que buscam desregular e agilizar processos de licenciamento ambiental e nuclear.

Neste contexto, o governo firmou uma parceria estratégica com a Brookfield (gestora de ativos) e Cameco (fornecedora de urânio) que são acionistas da Westinghouse visando investir US\$ 80 bilhões para construção de novos reatores (Westinghouse, 2025). Tal movimento busca atender o crescimento da demanda elétrica proveniente de data centers, inteligência artificial e novas indústrias eletrointensivas estimulando a expansão dos SMRs.

Os EUA ocupam também posição de destaque na inovação tecnológica e devem concentrar mais de um terço do mercado mundial de SMRs nas próximas décadas. Além disso, busca consolidar sua posição como um dos principais exportadores de tecnologia nuclear como vemos no Gráfico 3. Empresas como NuScale Power, Westinghouse, X-energy, Kairos Power e Oklo possuem projetos em países como Canadá, Reino Unido, Bulgária, Canadá, República Tcheca, Gana, Indonésia, Coreia do Sul, Polônia e Ucrânia.

Gráfico 3: Construção de plantas nucleares por nação de origem da tecnologia no cenário 2017-2040



Notas: SMR = reator modular pequeno (small modular reactor). Fonte: Análise da IEA com base em IEA (2024), World Energy Outlook 2024

O caso estadunidense demonstra que, mesmo em uma economia com predomínio da iniciativa privada, a expansão da energia nuclear depende de forte coordenação estatal para reduzir riscos financeiros, estabilidade regulatória e política industrial voltada ao desenvolvimento tecnológico, estimular inovação e viabilizar investimentos de longo prazo.

A França

Embora o programa nuclear tenha sido iniciado ainda nos anos 1950, foi no governo de Charles de Gaulle (1959-1969) que o domínio da tecnologia nuclear passou a ser tratado como instrumento de autonomia estratégica, reduzindo a dependência tecnológica e energética em relação aos EUA. Após o primeiro choque do petróleo, em 1973, essa estratégia foi aprofundada com o Plano Messmer, que promoveu a construção em série de reatores padronizados. Como resultado, o país passou de importador a um dos maiores exportadores de eletricidade da Europa, sustentada por uma matriz elétrica predominantemente nuclear (67%, em 2024).

A geração elétrica é liderada pela Électricité de France (EDF) que opera 18 centrais nucleares e 57 reatores (World Nuclear Association, 2024). A empresa ilustra um caso interessante, pois durante décadas, a EDF operou como monopólio estatal integrado. Mas, a partir dos anos 1990, a França iniciou a abertura do setor elétrico à concorrência, alinhando-se às diretrizes da União Europeia. Em 2005, a EDF abriu capital, mantendo o Estado como acionista majoritário. Com o tempo, a empresa enfrentou dificuldades financeiras ligadas à manutenção dos seus ativos nucleares, atrasos em projetos como Flamanville, na Normandia.

Diante desses desafios e da crescente preocupação com segurança energética, principalmente após do impacto da Guerra na Ucrânia, o governo decidiu retomar o controle total da empresa, concluindo sua nacionalização em 2023, demonstrando tanto a importância da ação do Estado para mitigar os riscos de grandes projetos com prazos longos, quanto a renovada preocupação com segurança energética.

A experiência francesa demonstra que o sucesso do programa nuclear decorreu da combinação entre planejamento de longo prazo, padronização tecnológica, política industrial, financiamento público e formação de capacidades nacionais. A adoção de poucos modelos de reatores construídos em série reduziu custos, simplificou o treinamento de pessoal e consolidou uma robusta cadeia de fornecedores nacionais. Por outro lado, mesmo com ampla experiência no setor, o projeto Flamanville 3, acumulou atrasos e aumento de custo¹, refletindo tanto a complexidade tecnológica quanto a perda de capacidades industriais após um longo período sem construção de novos reatores (IEA, 2025).

Na nova fase da política nuclear francesa, o governo voltou a ampliar seu protagonismo. Além do plano de construir seis novos reatores, os EPR2, até 2038 (Nuclear Engineering International, 2025) e avaliar a construção de outros oito, o Estado francês estuda conceder empréstimos públicos sem juros à EDF para financiar essa nova expansão, reduzindo o custo de capital e compartilhando os riscos inerentes aos projetos nucleares de grande porte (IEA, 2025). Paralelamente, a tecnologia de SMR integra a estratégia de reindustrialização e soberania tecnológica do Plano France 2030, que destina € 1 bilhão ao desenvolvimento de reatores avançados, com a meta de construir o primeiro SMR francês por volta de 2035 (projeto NUWARD).

A política nuclear francesa exige também uma estratégia de importação do urânio não disponível em seu território. O país consome cerca de 9.700 toneladas de concentrado de urânio por ano, com plantas controladas pela Orano (empresa de mineração de capital misto, controlada majoritariamente pela EDF) no Canadá, Cazaquistão e até as mudanças políticas do Níger, em 2024. A perda de controle operacional sobre ativos no Níger demonstra os riscos geopolíticos no acesso à matéria-prima.

A presença de uma empresa estratégica como EDF junto ao planejamento estatal de longo prazo garantiu o desenvolvimento de uma cadeia doméstica estruturada. Além disso, a coordenação estatal, planejamento de longo prazo e cadeia industrial doméstica estruturada também são diferenciais. Tal experiência indica a necessidade de consolidar competências no ciclo do urânio, fortalecer a indústria nacional e garantir continuidade regulatória.

1. Iniciado em 2007, entrou em operação somente em 2024, evidenciando os desafios da nova geração de grandes reatores. Utilizando o modelo European Pressurised Reactor (EPR), o empreendimento acumulou cerca de doze anos de atraso e teve seu custo estimado elevado de aproximadamente US\$3.200/kW para US\$11.000/kW.

A Rússia

A Rússia preservou o controle estatal sobre seu setor nuclear mesmo durante o amplo processo de privatizações da década de 1990. A estrutura institucional herdada da URSS foi reorganizada em 2007, quando o governo Vladimir Putin (2000-2008, 2012-atual) extinguiu a Agência Federal de Energia Atômica e criou a Rosatom, empresa estatal que passou a concentrar as atividades de pesquisa, mineração, enriquecimento de urânio, fabricação de combustível, construção de reatores, operação de usinas e exportação de tecnologia nuclear. Esse modelo de integração vertical diferencia a Rússia da maior parte das economias ocidentais e permite elevada coordenação entre política industrial, financiamento e política externa.

Atualmente, cerca de 19% da eletricidade do país é gerada por energia nuclear, percentual que o governo pretende elevar para 24% até 2042, conforme o plano nacional de expansão do setor elétrico. Além do mercado doméstico, no qual o projeto mais recente é a usina Kursk II capaz de gerar 1200 MW, a Rosatom consolidou-se como principal exportadora mundial de tecnologia nuclear, oferecendo um pacote integrado que combina projeto, construção, financiamento, fornecimento de combustível, capacitação pessoal e suporte operacional. Segundo a IEA, ao final de 2024 empresas russas estão envolvidas na construção de aproximadamente 23 GW de capacidade nuclear no exterior, em países como Turquia, Egito, Bangladesh e Hungria, além de novos projetos utilizando tecnologia russa na Índia e em outras economias emergentes (IEA, 2025).

No financiamento dos projetos, aproximadamente 60% dos investimentos em novas usinas e na extensão da vida útil dos reatores provêm de capital próprio da Rosatom demonstrando a capacidade financeira da empresa mesmo diante das limitações de acesso aos mercados internacionais de crédito. Essa capacidade de mobilização financeira permite, inclusive, a empresa oferecer condições de financiamento competitivas para seus clientes internacionais.

A Rússia também ocupa posição de destaque no desenvolvimento de SMRs. O país é pioneiro na operação comercial de reatores modulares flutuantes por meio da usina Akademik Lomonosov, utilizada para abastecer regiões do Ártico.

A experiência russa demonstra que o domínio completo da cadeia nuclear, associado a uma empresa estatal verticalmente integrada e articulada à política externa, pode transformar a energia nuclear em instrumento simultâneo de segurança energética, política industrial e tecnológica com projeção internacional.

A China

A China tornou-se o principal vetor da expansão da energia nuclear no século XXI, combinando planejamento estatal de longo prazo, investimentos massivos e forte coordenação industrial. Com 30 projetos em andamento, o país concentra cerca da metade dos reatores nucleares em construção no mundo e possuía a terceira maior capacidade nuclear em operação, consolidando-se como o principal mercado para a expansão nas próximas décadas. Diferentemente das economias avançadas, onde atrasos e elevação de custos tornaram-se recorrentes, a China reduziu significativamente os prazos de construção, concluindo novos reatores em média em sete anos entre 2017 e 2023, havendo projetos finalizados em apenas cinco anos (IEA, 2025).

A trajetória tecnológica da energia nuclear evidencia a ascensão chinesa. A primeira geração de reatores comerciais, nas décadas de 1950 e 1960, foi liderada pelos EUA, seguida pelo aperfeiçoamento dos reatores de água pressurizada difundidos por países como França e Rússia, entre 1970 e 1990. Atualmente, a disputa tecnológica concentra-se nos reatores avançados de terceira geração, nos SMRs e nos reatores de quarta geração - baseado em reatores modulares de alta temperatura refrigerados a gás - em que a China assumiu posição de liderança ao inaugurar, em 2023, o HTR-PM de Shidao Bay, o primeiro reator comercial desta categoria do mundo. A tecnologia apresenta uma espécie de reciclagem do combustível nuclear tornando a energia ainda mais sustentável. Além disso, o reator não serve apenas para eletricidade, mas também para fornecer calor industrial de processo (vapor a 750°C - 950°C), o que os PWRs convencionais não conseguem fazer. Uma vantagem também para descarbonizar indústrias pesadas como de siderurgia, hidrogênio e refino químico. Paralelamente, o país desenvolve outras tecnologias avançadas, como o China Experimental Fast Reactor (CEFR), os reatores rápidos refrigerados a sódio (SFR) e sistemas de ciclo fechado do combustível nuclear.

O avanço chinês resulta de uma política industrial, conduzida por empresas estatais como a China National Nuclear Corporation (CNNC) e a China General Nuclear (CGN), articuladas aos objetivos definidos pelos Planos Quinquenais. O 14º Plano Quinquenal (2021-2025) estabeleceu como meta alcançar aproximadamente 70 GW de capacidade nuclear instalada frente aos atuais 60 GW (World Nuclear Association, 2026) reforçando o papel da energia nuclear, na redução da dependência do carvão e no fortalecimento tecnológico. Diferentemente dos países ocidentais, onde projetos frequentemente enfrentam dificuldades financeiras, o financiamento chinês baseia-se majoritariamente em dívida de longo prazo, que representa cerca de 70% dos investimentos em novos empreendimentos, viabilizada sobretudo pelos bancos estatais e pelo baixo custo de capital proporcionado pelo Estado.

No campo regulatório, a expansão ocorre sob supervisão estatal pela National Nuclear Safety Administration (NNSA). A China fortaleceu seus padrões de segurança após o acidente de Fukushima, buscando compatibilizar rápida expansão da capacidade instalada com maior segurança operacional.

Além dos grandes reatores, a China também desenvolve sua própria tecnologia para os SMRs. O principal projeto é o ACP100 (Linglong One), da CNNC, foi lançado em janeiro de 2026, tornando-se o primeiro SMR comercial do mundo baseado em reatores de água pressurizada (PWR). Paralelamente, o país desenvolve projetos nucleares voltados para o aquecimento urbano e aplicações industriais, além de novas unidades do próprio HTR-PM. Segundo a IEA (2025), a China deverá tornar-se o maior mercado mundial de SMRs até 2050, alcançando cerca de 35 GW de capacidade instalada no cenário de políticas anunciadas, podendo atingir 50 GW em um cenário de maior difusão dessa tecnologia.

O avanço tecnológico permitiu também sua projeção internacional. A China incorporou, por exemplo, a energia nuclear à Belt and Road Initiative (BRI), ampliando sua presença em economias emergentes por meio da exportação de reatores, equipamentos e serviços especializados. Entre 2017 e 2024, dos 52 reatores cuja construção foi iniciada no mundo, 25 utilizaram projetos chineses, refletindo a rápida ascensão do país como fornecedor internacional de tecnologia nuclear.

A experiência chinesa demonstra que o desenvolvimento da indústria nuclear depende da combinação entre planejamento estatal de longo prazo, financiamento público de baixo custo, padronização tecnológica, fortalecimento da cadeia industrial e coordenação entre política energética e política industrial.



Angra III em obras (Agência Brasil)

Brasil: capacidades existentes e desafios para a expansão nuclear

O Brasil ocupa uma posição singular no setor nuclear: embora a energia nuclear represente menos de 2% da geração elétrica nacional, o país reúne ativos estratégicos importantes, como reservas relevantes de urânio, domínio da tecnologia de enriquecimento por ultracentrifugação, capacidade de fabricação de combustível nuclear e experiência operacional acumulada em Angra 1 e Angra 2. Com potência instalada conjunta de aproximadamente 2.000 MW, essas usinas fornecem energia contínua, despachável e de baixa emissão de carbono ao Sistema Interligado Nacional (SIN), além de estarem próximas ao principal centro de consumo do país, atendendo 40% da demanda elétrica do estado do Rio de Janeiro.

No entanto, essa base ainda não se converteu em uma política nuclear robusta, pois o setor permanece marcado por baixa escala, descontinuidade institucional e dificuldades de financiamento. Enquanto a produção mineral permanece concentrada na unidade de Caetité (BA) e o projeto de Santa Quitéria (CE) depende do avanço do licenciamento ambiental, o país detém cerca de 5% das reservas mundiais identificadas, a sexta maior reserva conhecida, e pode ampliar significativamente esse potencial através dos mapeamentos geológicos previstos no Plano Nacional de Mineração 2050 (Ministério das Minas e Energia, 2026).

Mesmo detentor desse potencial mineral, o Brasil ainda não realiza internamente a conversão do concentrado de urânio, o yellowcake, em hexafluoreto de urânio (UF₆), etapa anterior ao enriquecimento, o que obriga a contratação desse serviço de empresas do Canadá. Mesmo no enriquecimento isotópico, área em que o Brasil domina tecnologia própria de ultracentrifugação, a capacidade instalada em Resende ainda não atende integralmente à demanda nacional. Nesse cenário, a expansão do setor nuclear brasileiro poderia gerar sinergias industriais importantes, fortalecendo a base industrial, formando mão de obra qualificada e estimulando a inovação.

Nesse contexto, o principal desafio brasileiro não consiste apenas em ampliar a geração nuclear, mas em transformar competências científicas já existentes em uma política industrial capaz de consolidar toda a cadeia produtiva. As experiências de EUA, França, China e Rússia indicam que o país deveria fortalecer empresas nacionais como INB e Eletronuclear, completar etapas críticas do ciclo do urânio, formar recursos humanos, atrair financiamento de longo prazo e negociar parcerias externas com cooperação tecnológica. Assim, a vantagem brasileira deixaria de estar apenas nas reservas minerais e passaria a se expressar em autonomia produtiva, segurança energética e inserção internacional soberana.

As recomendações a seguir partem dessas lições para identificar caminhos que permitam ampliar a autonomia tecnológica e energética brasileira.



RECOMENDAÇÕES

1. A retomada de Angra III

O principal desafio imediato é a conclusão de Angra III, empreendimento cuja construção foi iniciada em 1984, no contexto do programa nuclear decorrente do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha, mas interrompida em 1986 em razão da crise fiscal brasileira. Em 2007, o governo decidiu retomar o projeto, incorporando-o ao Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). As obras foram reiniciadas em 2010, mas voltaram a ser paralisadas em 2015, em meio à crise financeira do empreendimento e às investigações da Operação Lava Jato.

Estudos elaborados pelo BNDES, em 2024, apontam que o abandono definitivo implicaria custos estimados de R\$ 21 bilhões e, de acordo à Eletronuclear estima que o investimento necessário para terminar a obra é de cerca de R\$ 23 bilhões, dos quais R\$ 12 bilhões já havia sido investido (World Nuclear Association, 2025). Ao mesmo tempo, a preservação da capacidade instalada também exige investimentos relevantes: a extensão da vida útil de Angra 1 até 2044 depende de modernização, atualização tecnológica e reforço dos sistemas de segurança. As experiências de EUA, França, Rússia e China mostram que programas nucleares bem-sucedidos exigem continuidade, previsibilidade regulatória, financiamento estável e coordenação estatal de longo prazo.

2. Completar o ciclo do combustível nuclear e expandir a mineração

O Brasil deve transformar suas expressivas reservas de urânio em capacidade industrial e tecnológica efetiva, evitando permanecer como mero fornecedor de matéria-prima. A experiência internacional demonstra que os países com maior protagonismo no setor nuclear não concentram seus esforços apenas na geração de eletricidade, mas no domínio das diferentes etapas da cadeia do combustível nuclear, desde a mineração até o enriquecimento, a fabricação de combustível e a prestação de serviços tecnológicos.

Nesse contexto, a política externa brasileira deve priorizar parcerias que fortaleçam a autonomia nacional em toda a cadeia produtiva, sempre condicionadas à absorção de tecnologia, formação de recursos humanos e nacionalização gradual das etapas críticas. O critério da escolha das parcerias deve ser unicamente a contribuição a estes objetivos, sem excluir nenhum país e sem obedecer orientações externas.

Essa estratégia permitiria reduzir vulnerabilidades externas, agregar valor às reservas minerais brasileiras e posicionar o país de forma mais competitiva em um mercado internacional cuja demanda por urânio e serviços associados tende a crescer nas próximas décadas em razão da expansão da energia nuclear.

3. Apostar em políticas industriais para novas tecnologias nucleares

Para o Brasil, a construção de uma política industrial-tecnológica voltada ao setor nuclear constitui condição indispensável para preservar competências tecnológicas já existentes e ampliar sua inserção em um mercado em rápida transformação. O país desenvolve um projeto para desenvolvimento de saber técnico, o RMB* (Reator Multipropósito Brasileiro), com impactos tanto para produção de radioisótopos quanto para avançar pesquisas na área da neutrônica (FAPESP, 2025) e que contribui em desenvolver know how para futuros reatores nacionais de potência.

Neste sentido, recomenda-se a estruturação de um programa nacional de desenvolvimento de tecnologias nucleares avançadas, articulando instituições como a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), a Indústrias Nucleares do Brasil (INB), a Eletronuclear, a Marinha do Brasil, universidades e centros de pesquisa, com instrumentos de financiamento da Finep e do BNDES, inclusive para alavancar o acesso aos mercados de capitais.

*O projeto é conduzido pelas Universidades Federais do ABC (UFABC), do Ceará (UFC), de Minas Gerais (UFMG) e de Santa Catarina (UFSC), além do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen), Instituto de Engenharia Nuclear (IEN), pelo o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), pela Marinha do Brasil e empresas públicas como a Amazul - Amazônia Azul Tecnologias de Defesa e Indústrias Nucleares Brasileiras (INB), além do setor privado como a startup Terminus Energia e a Diamante Geração de Energia.

4. Construir uma estratégia internacional para o setor nuclear

O Brasil deve adotar uma estratégia de inserção internacional capaz de ampliar sua autonomia tecnológica sem restringir suas opções de cooperação. Paralelamente, a política industrial deve privilegiar mecanismos que ampliem a participação da indústria nacional nas futuras cadeias de fornecimento do setor, estimulando a absorção de tecnologias através do desenvolvimento conjunto de componentes críticos e formação de mão de obra qualificada.

Para isso, recomenda-se que a política externa brasileira promova uma agenda de cooperação internacional baseada na complementaridade de capacidades. Os EUA destacam-se no desenvolvimento de tecnologias avançadas, como SMRs e novos combustíveis nucleares; a experiência francesa oferece oportunidades de aprofundamento em segurança nuclear, formação de recursos humanos e engenharia de grandes reatores; a Rússia permanece como referência na integração entre construção de usinas, fornecimento de combustível, financiamento e prestação de serviços nucleares; enquanto a China reúne vantagens na construção modular de reatores, redução de custos e desenvolvimento de cadeias industriais. A diversificação dessas parcerias reduz vulnerabilidades decorrentes de dependência tecnológica e amplia as possibilidades de absorção de conhecimento e reforça capacidade de negociação.

Essa estratégia deve ser acompanhada de uma atuação ativa do Brasil em organismos internacionais, além de iniciativas multilaterais voltadas à segurança nuclear, inovação tecnológica e formação de capacidades. Ao mesmo tempo, o fortalecimento da cooperação regional pode posicionar o país como futuro fornecedor de combustível nuclear, serviços técnicos e assistência regulatória para a América Latina, aproveitando sua experiência institucional e seu domínio parcial do ciclo do combustível.

Neste sentido, o país possui histórico de cooperação de uso pacífico com a Argentina desde a década de 1980 através da Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares (ABACC). Nosso vizinho produziu cerca de 11 TWh em 2024, o que representa 7% da energia elétrica gerada no país. Além de três grandes usinas em operação, a Argentina possui um projeto paralisado de SMR que, caso retomado, pode representar mais uma possibilidade de cooperação e integração regional.

Para o Brasil, mais do que importar tecnologia para consumo, o objetivo deve ser utilizar a cooperação internacional como instrumento para ampliar capacidades nacionais, fortalecer a soberania tecnológica e consolidar o país na nova geopolítica da energia nuclear.

O Brasil deve adotar uma estratégia de inserção internacional capaz de ampliar sua autonomia tecnológica sem restringir suas opções de cooperação. Paralelamente, a política industrial deve privilegiar mecanismos que ampliem a participação da indústria nacional nas futuras cadeias de fornecimento do setor, estimulando a absorção de tecnologias através do desenvolvimento conjunto de componentes críticos e formação de mão de obra qualificada.

5. Ampliar o debate e a divulgação científica

Visando à expansão do setor no país, é fundamental superar eventuais desconfianças da população em relação ao tema. Para isso, é necessário estimular o debate público, a divulgação científica, a acessibilidade às informações e a aproximação entre o conhecimento nuclear e a vida cotidiana. A inclusão da opinião pública nesse debate pode, inclusive, contribuir para a continuidade dos projetos nucleares.

No início de julho deste ano, o Conselho Nacional de Política Mineral deu um importante passo ao criar um grupo de trabalho para avaliar o papel do urânio brasileiro em programas estratégicos nas áreas de energia e defesa. Coordenado pelo Ministério de Minas e Energia, o grupo contará com a participação de diversos ministérios. Entretanto, chama a atenção a ausência de representantes da sociedade civil e da academia, cuja participação enriqueceria o debate, aumentaria a transparência e ampliaria a discussão sobre os melhores rumos a serem tomados.

Giorgio Romano Schutte
João Pedro Taffner
Rafael Alves Fernandes
Robson Silva



em parceria com

