



Conexão
Nuclear

Ano **06**
Nº **26**
Mar. 2026

Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN)

Papel central para o futuro da energia nuclear

HALEU

Combustível redefine
futuro do nuclear

Inovações na Marinha

Esforço brasileiro em antecipar
tendências e alinhar-se às melhores
práticas internacionais

Cadeia produtiva

Maiores gargalos estão nos
suprimentos e na formação de
pessoas

Entrevista com Thiago Barral

Subsecretário aponta desafios e oportunidades
do cenário nuclear brasileiro

ABDAN

Expediente

PRESIDENTE

Celso Cunha

VICE-PRESIDENTE

Alexandre Honaizer

VICE-PRESIDENTE

Ivan Alexandrovich Dybov

VICE-PRESIDENTE

Paulo Coelho

VICE-PRESIDENTE

Sibila Grallet

VICE-PRESIDENTE

Stephen McKinney

DIRETOR TÉCNICO

Leonam dos Santos Guimarães

CONSELHO CONSULTIVO

PRESIDENTE

Paulo Massa

VICE-PRESIDENTE

Giacomo Staniscia

MEMBROS

Adeilson Telles

Charles Buldrini Filogonio

Cristiano Wujastyk

Luiz Celso

Newton Costa

Pedro Litsek

Pedro Moreira

Sibila Grallert

Conexão Nuclear é uma publicação da ABDAN

EDITORA

Juliana Costa dos Santos - 0042392/RJ

REPORTAGEM

Larissa Haddock Lobo - 0042346/RJ

Juliana Costa dos Santos - 0042392/RJ

GERÊNCIA DE MARKETING E COMUNICAÇÃO

Cristiane Pereira

GERÊNCIA DE DESIGN

Lucas do M. N. Cunha

PROJETO GRÁFICO E DIAGRAMAÇÃO

Roman Atamanczuk

INFOGRAFIA

Lucas Gomes

FOTO DE CAPA

Gabriel Paiva

EDIÇÃO E REVISÃO DE TEXTO

Kelli Gonçalves

ABDAN

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES NUCLEARES

AV. RIO BRANCO, 122, 2º ANDAR - CENTRO

RIO DE JANEIRO - RJ - BRASIL

CEP: 20.040-001

+55 (21) 2262-6587

WWW.ABDAN.ORG.BR

SUGESTÕES E DÚVIDAS

ABDAN@ABDAN.ORG.BR

Sumário

13

CAPA

Entrevista com Thiago Barral

Subsecretário de Implementação da Secretaria Extraordinária do Mercado de Carbono comenta sobre desafios e oportunidades no cenário brasileiro



04

Editorial

Brasil entre o potencial e a ação

05

Cadeia produtiva

América Latina desponta como polo com potencial industrial relevante

07

HALEU

Muito mais do que um combustível

09

SMRs aos olhos da EPE

Solução promissora de geração de energia elétrica

11

Medicina nuclear

Conheça a teranóstica, abordagem que integra diagnóstico e terapia utilizando a mesma molécula

15

CREA AQUI

Evento aborda inovação, desenvolvimento tecnológico e o papel da engenharia para o futuro do país

17

RMB sai do papel

Projeto é considerado estratégico para o país

19

Inovações na Marinha

Integração entre conhecimento marinho e nuclear é fundamental para avanços seguros

22

Construção silenciosa

Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN) é personagem decisiva para o futuro do nuclear

26

Informe Publicitário

Rosatom

A REALIDADE SE IMPÕE: O BRASIL ENTRE O POTENCIAL E A AÇÃO



ca consolidada. Ainda assim, convivemos com indefinições regulatórias, morosidade decisória e planejamento fragmentado. Em um ambiente internacional cada vez mais competitivo, hesitação custa espaço, relevância e oportunidades.

O debate energético nacional precisa superar visões ideológicas ou conjunturais. Energia firme, limpa e previsível não é luxo, é pré-condição para desenvolvimento industrial, atração de investimentos e estabilidade econômica. A fonte nuclear não é promessa futura; é solução disponível, testada e integrada às estratégias das principais economias globais.

Também é preciso ampliar a compreensão sobre o alcance do setor. A tecnologia nuclear impacta a saúde pública, a pesquisa científica, a indústria e a formação de mão de obra altamente qualificada. Quando adiamos investimentos estruturantes, não retardamos apenas megawatts — retardamos inovação, autonomia e competitividade.

O avanço do Reator Multipropósito Brasileiro simboliza essa encruzilhada: sair do discurso e consolidar capacidade concreta. Da mesma forma, a atuação histórica da Marinha do Brasil demonstra que continuidade e visão de Estado produzem resultados consistentes ao longo do tempo. O desafio é transformar iniciativas pontuais em política estruturante.

O mundo já fez sua escolha: está investindo, acelerando e estruturando seu futuro energético com pragmatismo. O Brasil reúne competência técnica, recursos naturais e capital humano. O que falta não é conhecimento — é decisão.

Nesta edição, aprofundamos esses temas sob diferentes perspectivas: o fortalecimento da cadeia produtiva e seus impactos industriais, os movimentos estratégicos globais como o da Westinghouse, a visão da EPE para o planejamento de longo prazo, o papel do mercado de carbono na política energética, os avanços do RMB, a contribuição da Marinha e a importância da engenharia nacional no fortalecimento institucional do setor.

A realidade está posta. Potencial já não basta. O que definirá o lugar do Brasil no cenário nuclear global será sua capacidade de agir. ■

Boa leitura.

Presidente Celso Cunha.

Em um cenário global marcado por tensões geopolíticas, disputas por cadeias produtivas estratégicas e metas cada vez mais rigorosas de descarbonização, a energia nuclear retorna ao centro das decisões das principais economias do mundo. O que antes era tratado como alternativa passa a ser reconhecido como ativo de soberania. Segurança energética deixou de ser discurso técnico: tornou-se questão de Estado.

Movimentos recentes da Westinghouse evidenciam que não se trata apenas de expansão empresarial, mas de reorganização global de influência tecnológica e industrial. Países que compreendem essa dinâmica estão consolidando cadeias produtivas, assegurando domínio tecnológico e estruturando políticas de longo prazo. A pergunta que se impõe é direta: o Brasil acompanhará esse movimento ou continuará adiando decisões estratégicas?

Temos uma das maiores reservas de urânio do mundo, domínio do ciclo do combustível e tradição científi-

O NOVO CICLO DA ENERGIA NUCLEAR E O DESAFIO DA CADEIA PRODUTIVA GLOBAL

A AMÉRICA LATINA, ESPECIALMENTE O BRASIL, DESPONTA COMO POLOS COM POTENCIAL INDUSTRIAL RELEVANTE

O setor nuclear vive um momento singular no mundo. Impulsionada pelo crescimento acelerado da demanda elétrica, pela expansão da inteligência artificial, pela busca por segurança energética e pelo compromisso com a descarbonização, a energia nuclear voltou ao centro das estratégias no Brasil e em muitos países. Para quem acompanha o setor há décadas, como Antonio Ramiro, diretor da Westinghouse no Brasil, trata-se de um ponto de inflexão histórico.

“É um momento ímpar. Mesmo profissionais com 40 ou 45 anos de indústria concordam que nunca vimos uma combinação tão forte de fatores convergindo a favor da energia nuclear”, afirma.

Esse novo ciclo se traduz em números concretos. Hoje, mais de 60 reatores estão em construção no mundo, somando-se aos mais de 400 em operação. Em 2025, a geração nuclear global atingiu o maior patamar da história. Países que haviam desacelerado seus programas, como Japão e França, retomaram projetos, enquanto novas economias incorporam a tecnologia como base para sistemas energéticos mais resilientes.

Nesse cenário, a Westinghouse ocupa uma posição estratégica. Responsável pela tecnologia de por aproximadamente metade dos reatores nucleares em operação no mundo, a empresa lidera um portfólio tecnológico que vai desde reatores de grande porte até soluções avançadas para diferentes aplicações energéticas.

INVESTIMENTOS NOS ESTADOS UNIDOS E NO CANADÁ

A retomada da energia nuclear na América do Norte ganhou impulso decisivo em 2025, quando o governo dos Estados Unidos anunciou medidas para acelerar novos projetos, incluindo facilidades para licenciamento, financiamento e escolha de sítios. Pouco depois, foi formalizado um acordo que reforça a capacidade industrial da Westinghouse para atender à construção de mais de 20 a 10 novas usinas nucleares nos Estados Unidos e no Canadá.

“O desafio não é pequeno. Nenhuma empresa no mundo consegue construir essa quantidade de reatores em parale-

lo sem reforçar profundamente sua cadeia de suprimentos e sua base de mão de obra”, explica Ramiro.

O investimento envolve não apenas capital, mas uma reorganização industrial de larga escala. Componentes de classe nuclear, como vasos de pressão, geradores de vapor e sistemas de segurança, exigem processos de fabricação altamente especializados e rigorosos padrões de qualificação. É justamente aí que o Brasil entra no radar.

BRASIL NO MAPA DA CADEIA GLOBAL DE SUPRIMENTOS NUCLEARES

Para atender à demanda crescente, a Westinghouse iniciou um processo global de busca e qualificação de fornecedores. A América Latina, e especialmente o Brasil, despontam como polos com potencial industrial relevante.

“A gente está procurando fornecedores no mundo todo. No caso da América Latina, o Brasil aparece como um candidato natural, com empresas interessadas e capacidade industrial que pode ser desenvolvida para atender aos padrões internacionais”, reforça.

O processo de qualificação, no entanto, é rigoroso. Envolve auditorias técnicas, documentação extensa, adequação de processos produtivos e certificações específicas. Uma vez qualificada, a empresa brasileira passa a integrar licitações internacionais, abrindo caminho não apenas para projetos nacionais, mas também para exportação de componentes e serviços. “É um caminho exigente, mas extremamente estratégico. Depois de qualificada, a empresa não entra apenas em um projeto, entra em uma cadeia global”, resume Ramiro.

MÃO DE OBRA: O GARGALO MAIS CRÍTICO

Se a cadeia produtiva é um desafio, a formação de pessoas é ainda mais sensível. A expansão nuclear prevista para as próximas décadas exigirá milhares de profissionais altamente qualificados: engenheiros, operadores, técnicos de manutenção e especialistas em instrumentação, controle digital e sistemas avançados.

Segundo Ramiro, há hoje um desalinhamento entre as necessidades da indústria e a formação oferecida por



“NUNCA VIMOS UMA COMBINAÇÃO TÃO FORTE DE FATORES CONVERGINDO A FAVOR DA ENERGIA NUCLEAR”, ANTONIO RAMIRO.

e centros técnicos. Para enfrentar esse desafio, a Westinghouse participa de iniciativas voltadas ao planejamento de recursos humanos de longo prazo.

“A indústria precisa dizer com clareza o que vai precisar daqui a 10, 15 ou 20 anos. Talvez menos engenheiros nucleares tradicionais e mais profissionais em instrumentação digital, salas de controle avançadas e sistemas integrados”, explica.

O diálogo com universidades no Brasil e em outros países da região já começou, com o objetivo de ajustar currículos, programas de pós-graduação e formação técnica à realidade da nova indústria nuclear.

GRANDES REATORES, SMRS E A LÓGICA DA APLICAÇÃO CORRETA

No debate sobre o futuro da energia nuclear, os pequenos reatores modulares (SMRs) ganharam destaque por sua flexibilidade e potencial de aplicação em nichos específicos. Para Ramiro, eles representam uma evolução importante, mas precisam ser analisados com realismo: “Os SMRs são uma realidade de médio prazo. Ainda estamos no processo de licenciamento e amadurecimento tecnológico. Não

é algo que vai se materializar de forma ampla no mundo ocidental imediatamente”.

A escolha entre um reator de grande porte ou uma solução modular depende, sobretudo, da aplicação. Grandes reatores seguem sendo a opção mais eficiente em termos de custo por megawatt-hora para sistemas com alta demanda e integração à rede. Já os SMRs e microrreatores atendem situações específicas, como regiões remotas, plataformas industriais isoladas ou aplicações onde a flexibilidade é determinante.

“O tamanho do reator não define se a energia é cara ou barata. O que importa é a adequação à necessidade. Economia de escala continua sendo um fator decisivo”, esclarece.

PORTFÓLIO INTEGRADO E VISÃO DE LONGO PRAZO

Um dos diferenciais da Westinghouse, segundo Ramiro, é oferecer um pacote completo que vai além da construção do reator. Isso inclui treinamento de operadores, simuladores, manutenção, inspeções, engenharia e suporte ao longo de todo o ciclo de vida da usina:

“Não se trata apenas de entregar um reator, mas de garantir que ele opere com segurança, eficiência e previsibilidade por décadas”.

À medida que o mundo acelera seus programas nucleares, a mensagem é clara: a tecnologia está disponível, o financiamento avança e o licenciamento evolui. Os grandes desafios agora estão na cadeia de suprimentos e na formação de pessoas.

Para o Brasil, esse movimento representa uma oportunidade rara. Integrar-se à cadeia global da energia nuclear significa gerar empregos qualificados, fortalecer a indústria nacional e posicionar o país como fornecedor estratégico em um setor essencial para a transição energética mundial. ■

HALEU: O COMBUSTÍVEL QUE REDEFINE A PRÓXIMA GERAÇÃO NUCLEAR

DO AVANÇO DOS SMRS À GEOPOLÍTICA DO COMBUSTÍVEL, O URÂNIO DE MAIOR ENRIQUECIMENTO EMERGE COMO PEÇA-CHAVE DO NUCLEAR

A corrida global por novas soluções energéticas de baixo carbono trouxe os reatores avançados e os pequenos reatores modulares (SMRs) para o centro das discussões internacionais. Mas, por trás do debate sobre novas usinas, um tema ganhou protagonismo silencioso e decisivo: o combustível nuclear. Mais especificamente, o HALEU — sigla para High Assay Low-Enriched Uranium — desponta como o elo crítico entre inovação tecnológica, segurança energética e soberania industrial.

Com níveis de enriquecimento entre 5% e 19,9% de U-235, o HALEU viabiliza projetos de reatores mais compactos, eficientes e com ciclos operacionais mais longos. Sem ele, grande parte das tecnologias avançadas simplesmente não avança além do papel.

“O HALEU é essencial para muitos dos projetos de nova geração de reatores nucleares. Sem uma oferta comercial estável desse combustível, grande parte dessas tecnologias simplesmente não sai do papel”, afirma Reinaldo Gonzaga, diretor do combustível nuclear da Indústrias Nucleares do Brasil (INB).

O COMBUSTÍVEL COMO ATIVO ESTRATÉGICO

Durante décadas, a cadeia global do combustível nuclear esteve concentrada em poucos atores, especialmente nas etapas de conversão e enriquecimento. O cenário mudou rapidamente. Tensões geopolíticas, rupturas de cadeias produtivas e a crescente eletrificação da economia expuseram a vulnerabilidade dessa dependência.

Hoje, Estados Unidos, União Europeia, Canadá e Japão investem pesadamente na reconstrução de capacidades domésticas de enriquecimento e conversão. O combustível deixou de ser apenas um insumo industrial e passou a ser tratado como ativo estratégico. “O que estamos vendo é uma profun-

O QUE É HALEU E POR QUE ELE IMPORTA

- **Enriquecimento:** 5% a 19,9% de U-235
- **Aplicações:** SMRs, reatores avançados, usos industriais e defesa
- **Benefícios:**
 - Maior eficiência do reator
 - Ciclos operacionais mais longos
 - Reatores mais compactos
 - Maior flexibilidade operacional

da reconfiguração da cadeia global de suprimentos nuclear. O combustível passou a ser um ativo de segurança energética e soberania tecnológica”, resume Gonzaga.

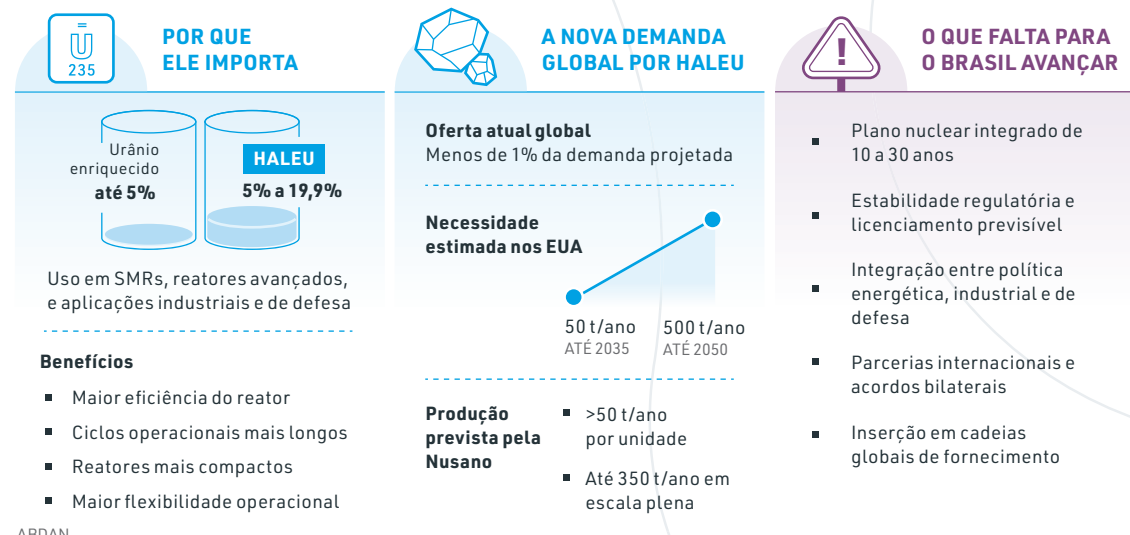
A CORRIDA INTERNACIONAL PELO HALEU

O movimento global ganhou novo impulso com iniciativas privadas voltadas à produção em escala comercial. Um exemplo recente é o programa anunciado pela Nusano, nos Estados Unidos, que promete capacidade de produção de até 350 toneladas métricas anuais de HALEU até o fim da década.

A proposta da empresa aposta em processos produtivos mais eficientes, menor consumo energético e eliminação de gargalos tradicionais do ciclo do combustível. A expectativa é iniciar produção comercial a partir de 2027, atendendo à crescente demanda de reatores avançados e SMRs. “A experiência internacional mostra que ter o minério não é suficiente. Conversão, enriquecimento e fabricação do combustível agregam valor estratégico e comercial”, observa Gonzaga.

Nos EUA e na Europa, esses programas contam com forte apoio estatal, contratos de longo prazo e

ENTENDA O HALEU E O CAMINHO DO BRASIL



mecanismos de mitigação de risco. O mercado, isoladamente, não tem sido capaz de viabilizar o salto necessário.

O DILEMA BRASILEIRO: MATÉRIA-PRIMA OU PROTAGONISMO?

Detentor de uma das maiores reservas de urânio do mundo e com domínio tecnológico relevante no ciclo do combustível, o Brasil aparece como potencial protagonista dessa nova fase. Mas a oportunidade traz uma decisão estratégica clara: permanecer como fornecedor de baixo valor agregado ou avançar para produtos de alta densidade tecnológica. “Quem esperar o mercado amadurecer pode perder a janela estratégica. Países com capacidade tecnológica precisam decidir se serão apenas fornecedores de matéria-prima ou participantes ativos da nova arquitetura nuclear”, alerta o diretor da INB.

O domínio do ciclo do combustível sempre foi um diferencial brasileiro, especialmente com a tecnologia de enriquecimento desenvolvida pela Marinha do Brasil e operada comercialmente pela INB. O avanço do HALEU recoloca essa competência em um novo patamar. “A vantagem mineral precisa ser convertida em vantagem industrial e tecnológica”, reforça Gonzaga.

O PAPEL DA INB NA NOVA CADEIA NUCLEAR

A INB ocupa posição singular no cenário internacional ao atuar em múltiplas etapas do ciclo do combustível, da mineração à fabricação de elementos

combustíveis. Essa estrutura oferece uma base concreta para a construção de uma cadeia mais integrada e sofisticada.

“A INB já possui uma base real para liderar essa evolução. O passo estratégico agora é reduzir a exportação de baixo valor agregado e avançar para produtos com maior densidade tecnológica”, explica Gonzaga. Segundo ele, com parcerias estratégicas, investimentos adequados e previsibilidade regulatória, a empresa pode futuramente atuar também como fornecedora de serviços de conversão, enriquecimento avançado e fabricação de combustíveis para reatores de nova geração.

DECISÃO ESTRATÉGICA, NÃO TECNOLÓGICA

Para Reinaldo Gonzaga, o Brasil reúne os principais ativos necessários: reservas de urânio, domínio tecnológico, parque industrial e capital humano qualificado. O desafio central, porém, não é técnico. “O desafio não é tecnológico, é estratégico. A questão fundamental é decidir se o país quer evoluir como ator relevante no mercado nuclear internacional”, conclui.

Em um mundo que acelera a eletrificação, amplia a demanda por energia firme e redesenha suas cadeias produtivas, o HALEU surge como muito mais que um combustível. Ele é o símbolo de uma escolha: ficar à margem da próxima onda nuclear ou assumir protagonismo em um mercado que já começou a se reorganizar. ■

SMRS NO HORIZONTE DO PLANEJAMENTO

COMO A EPE ENXERGA O PAPEL DOS PEQUENOS REATORES MODULARES NA EXPANSÃO DA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

O avanço das fontes renováveis variáveis, o crescimento da demanda por energia firme e os compromissos climáticos assumidos pelo Brasil colocam novos desafios para o planejamento energético de longo prazo. Nesse contexto, os pequenos reatores modulares (SMRs) surgem como uma alternativa tecnológica capaz de combinar segurança energética, previsibilidade e descarbonização.

Em entrevista à revista da ABDAN, fontes da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) detalham como a tecnologia já está inserida nos cenários oficiais e quais são os condicionantes para que avance do campo conceitual para a efetiva implantação no país.

A EPE considera os SMRs como uma solução promissora de geração de energia elétrica. Eles se mostram como uma opção importante para a diversificação e descarbonização da matriz brasileira nas próximas décadas.

EXPANSÃO NUCLEAR NO LONGO PRAZO

De acordo com o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), novas usinas nucleares poderão incorporar tecnologias SMR após 2030, desde que alcancem maturidade tecnológica, operacional e competitividade econômica frente a outras fontes.

Os cenários projetam um aumento da geração nuclear dos atuais 2 GW para algo entre 8 e 10 GW até 2050. Já o PNE 2055, atualmente em consulta pública pelo Ministério de Minas e Energia, mantém essa abordagem e prevê a viabilização de até 14 GW de tecnologia nuclear, patamar que pode ser atendido por SMRs.

A alternativa do uso de SMRs já está incorporada ao planejamento energético, especialmente nos cenários de longo prazo, de acordo com a EPE.

ATRIBUTOS QUE DIALOGAM COM O SISTEMA BRASILEIRO

A modularidade, a flexibilidade operacional e o menor CAPEX unitário estão entre os atributos mais

associados aos SMRs. Para a EPE, esses fatores podem responder a desafios importantes do sistema elétrico nacional.

A modularidade permite a expansão incremental da capacidade, acompanhando o crescimento da demanda sem a necessidade de imobilização total de capital antes do início da operação. Isso, aponta a empresa, reduz riscos financeiros e antecipa a geração de receita.

A flexibilidade operacional também é um diferencial relevante, especialmente diante da expansão acelerada da geração eólica e solar no Brasil.

Diversas tecnologias de SMRs têm sido projetadas para modular sua potência entre 20% e 100%, com taxas de rampa significativas. Ainda que existam desafios econômicos associados, entende-se que podem atender aos requisitos do sistema elétrico brasileiro do presente e do futuro, acredita a EPE.

SMRS E RENOVÁVEIS

O Brasil possui uma matriz elétrica com forte presença hidrelétrica, além da complementaridade crescente entre fontes eólica, solar e termelétricas.

Nos últimos 15 anos, a expansão das renováveis variáveis introduziu novos desafios de operação e planejamento.

Segundo a EPE, os SMRs podem integrar o conjunto de soluções para garantir equilíbrio entre carga e geração, ao lado de:

- Expansão da transmissão
- Tecnologias de armazenamento (baterias e reservatórios)
- Resposta da demanda
- Geração mais flexível

A empresa ressalta que cada sistema energético possui características próprias e que a inserção da tecnologia deve considerar as especificidades do sistema brasileiro.

PARTICIPAÇÃO DA FONTE NUCLEAR, INCLUINDO SMRS, NOS CENÁRIOS DO PNE 2050 E 2055 AUXILIARÁ O BRASIL NO CUMPRIMENTO DE METAS DE DESCARBONIZAÇÃO



APLICAÇÕES ALÉM DA GERAÇÃO ELÉTRICA

O potencial dos SMRs não se restringe ao fornecimento de energia ao Sistema Interligado Nacional. A EPE identifica oportunidades estratégicas em aplicações industriais e novos vetores energéticos - observa potencial no uso de vapor e calor de alta temperatura para descarbonizar indústrias pesadas como siderurgia e cimento, hoje dependentes de combustíveis fósseis, por exemplo.

Outras frentes incluem a produção de hidrogênio de baixo carbono, dessalinização e o atendimento a grandes cargas com consumo contínuo e elevado, como data centers. A EPE entende que os SMRs podem oferecer energia firme para grandes cargas intensivas, cujas demandas exigem alta confiabilidade e previsibilidade.

ATIVOS ESTRATÉGICOS DO BRASIL

Na avaliação da EPE, o Brasil reúne vantagens comparativas importantes para a adoção da tecnologia. Entre elas, o domínio do ciclo do combustível nuclear e a experiência operacional acumulada ao longo de décadas.

Detalhando mais essa observação, podemos destacar que o Brasil detém a oitava maior reserva de urânio do mundo e domina a tecnologia do ciclo do combustível, da mineração à montagem do elemento combustível. Isso é visto como fator crucial para soberania energética e redução da dependência externa.

A experiência com Angra 1 e Angra 2 também é considerada estratégica pela empresa. A vivência operacional fornece uma base sólida de conhecimento para mitigar riscos na introdução de novas tecnologias. A expansão via SMRs também representa oportunidade para manter e ampliar a formação de recursos humanos altamente qualificados.

ENTRAVES E PRÓXIMOS PASSOS

Apesar do avanço conceitual, a tecnologia ainda enfrenta desafios globais. A maioria dos projetos de SMRs está em fase de desenvolvimento, o que implica incertezas técnicas e econômicas.

A EPE aponta que, além de regulação, financiamento, aceitação social e escala industrial, é fundamental observar a competitividade da geração, considerando CAPEX, OPEX, prazo de implantação e confiabilidade.

Para que os SMRs avancem de forma concreta no Brasil, a empresa destaca a necessidade de demonstrações comerciais bem-sucedidas nos próximos anos. Segundo ela, a efetiva demonstração das tecnologias em escala comercial trará respostas às questões técnicas e econômicas. O planejamento energético estará atento a esses resultados, ao mesmo tempo em que são necessários avanços em regulação, licenciamento e aceitação social.

RESILIÊNCIA E COMPROMISSOS CLIMÁTICOS

Diante do crescimento da demanda e do aumento de eventos climáticos extremos, a diversificação da matriz ganha ainda mais relevância. O emprego de geração nuclear, incluindo SMRs, pode contribuir para a resiliência e segurança energética do país. Trata-se, segundo a EPE, de uma fonte de baixo carbono, com alta disponibilidade, confiabilidade e pouca dependência de fatores climáticos.

Sob a ótica climática, a empresa avalia que os SMRs possuem potencial estratégico para auxiliar o Brasil no cumprimento de suas metas de descarbonização e compromissos internacionais. ■

**Participaram com o fornecimento de informações e dados as equipes das Diretorias de Estudos de Energia Elétrica e de Estudos Econômico-Energéticos e Ambientais da EPE.*

MEDICINA NUCLEAR AVANÇA COM TERANÓSTICA E TECNOLOGIAS DE PRECISÃO MOLECULAR

DIAGNÓSTICO PRECOCE, TRATAMENTOS PERSONALIZADOS E NOVOS RADIOFÁRMACOS REDEFINEM FRONTEIRAS DA ONCOLOGIA E NEUROLOGIA

A medicina nuclear está em plena transformação. Inovações tecnológicas que permitem identificar doenças em estágios iniciais, personalizar tratamentos e direcionar radiação diretamente às células tumorais representam avanços decisivos no combate ao câncer e a doenças neurológicas. Entre as mudanças mais relevantes está a teranóstica, uma abordagem que integra diagnóstico e terapia utilizando a mesma molécula. Primeiro, o radiofármaco localiza as células doentes com alta precisão por meio de exames de imagem molecular; depois, esse mesmo composto é usado para tratá-las, levando radiação diretamente ao alvo.

“Isso representa uma mudança de paradigma”, explica Sibila Grallert, especialista em Radiopharmacy and Radiochemistry e diretora da Center of Molecular Research (CMR). “Deixamos de tratar apenas o órgão afetado para tratar especificamente a célula doente”, afirma. Segundo ela, outro avanço decisivo é a evolução dos equipamentos de imagem, especialmente os sistemas PET-CT digitais de última geração, que apresentam sensibilidade muito superior às tecnologias anteriores. Eles permitem identificar lesões extremamente pequenas e alterações biológicas precoces, muitas vezes antes de qualquer manifestação clínica.

Somam-se a isso os novos radiofármacos, inclusive emissores de partículas alfa, capazes de destruir células tumorais em escala microscópica, preservando os tecidos saudáveis ao redor. Paralelamente, a incorporação de inteligência artificial e da dosimetria personalizada possibilita calcular, para cada paciente, a dose ideal de radiação, aumentando a segurança e a eficácia terapêutica.

DIAGNÓSTICO ANTECIPADO E TERAPIAS PERSONALIZADAS

As novas tecnologias mudaram o momento em que a doença é identificada. Antes, muitos diagnósticos ocorriam

quando já existia comprometimento estrutural do órgão. Hoje, a imagem molecular permite reconhecer alterações biológicas iniciais, antecipando a detecção da doença e ampliando significativamente as chances de controle. “A teranóstica também introduz um novo nível de personalização terapêutica”, esclarece Grallert. “O próprio exame confirma se o tumor expressa determinado alvo molecular; se expressar, o tratamento pode ser realizado utilizando o mesmo mecanismo de ligação. Na prática, apenas os pacientes com maior probabilidade de resposta são submetidos à terapia, evitando intervenções ineficazes.

Além disso, a radiação é direcionada diretamente às células tumorais, reduzindo a toxicidade sistêmica e os efeitos colaterais. O resultado clínico é mais favorável: menor necessidade de internações, melhor qualidade de vida e maior controle da progressão da doença, mesmo em casos avançados.

O FUTURO: MEDICINA PREDITIVA E EXPANSÃO PARA NOVAS DOENÇAS

Olhando para os próximos anos, a tendência é a expansão dos radiofármacos para diferentes tipos de câncer e para doenças neurológicas, como Alzheimer e Parkinson, permitindo identificar alterações moleculares antes mesmo

“A MEDICINA NUCLEAR CAMINHA PARA UM MODELO PREDITIVO, IDENTIFICANDO ALTERAÇÕES MOLECULARES ANTES MESMO DO SURTIMENTO DOS SINTOMAS”, SIBILA GRALLERT.



do surgimento dos sintomas. “A medicina nuclear caminha para um modelo preditivo, no qual será possível avaliar o comportamento biológico da doença e orientar intervenções cada vez mais precoces”, detalha a diretora da CMR.

Do ponto de vista tecnológico, espera-se o avanço de terapias com emissores alfa, protocolos totalmente individualizados baseados em dosimetria e a integração com inteligência artificial para planejamento terapêutico e acompanhamento de resposta.

O BRASIL NO CENÁRIO GLOBAL DA MEDICINA NUCLEAR

O Brasil tem condições importantes para participar desse cenário global, pois conta com centros especializados, profissionais qualificados e crescente incorporação tecnológica. Segundo Sibila Grallert, o principal desafio será ampliar a produção nacional de radioisótopos, investir em pesquisa clínica e formação profissional, garantindo acesso sustentável às terapias: “Ao estruturar cadeias de produção e pesquisa, o país pode não apenas acompanhar a inovação, mas também contribuir ativamente para o desenvolvimento da medicina nuclear na América Latina”.

Com a combinação de tecnologias de ponta, capacitação profissional e investimento estratégico, a medicina nuclear brasileira tem potencial para consolidar-se como referência regional, oferecendo tratamentos cada vez mais eficazes e acessíveis à população.

AVANÇOS CONSOLIDADOS: O QUE JÁ FUNCIONA NO PAÍS

Apesar dos desafios estruturais, o Brasil já opera com excelência em diversas frentes da medicina nuclear. O país possui uma rede consolidada de serviços de diagnóstico por imagem molecular, com dezenas de equipamentos PET-CT distribuídos por hospitais públicos e privados, atendendo milhares de pacientes anualmente. A produção nacional de radiofármacos para diagnóstico, como o FDG-F18 utilizado em exames oncológicos, está bem estabelecida e atende grande parte da demanda interna.

Além disso, centros de referência, como o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), vinculado à Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), desenvolvem pesquisas aplicadas e formam especialistas de alto nível. No campo terapêutico, tratamentos com iodo radioativo para doenças da tireoide são amplamente disponíveis, consolidando-se como padrão-ouro no Sistema Único de Saúde (SUS) e na rede privada. Recentemente, terapias terapêuticas com PSMA para câncer de próstata metastático começaram a ser oferecidas em centros especializados, sinalizando a entrada do Brasil no grupo de países que aplicam essas tecnologias de ponta.

Com a combinação de tecnologias de ponta, capacitação profissional e investimento estratégico, a medicina nuclear brasileira tem potencial para consolidar-se como referência regional, oferecendo tratamentos cada vez mais eficazes e acessíveis à população. ■

THIAGO BARRAL E O MERCADO REGULADO DE CARBONO BRASILEIRO

SUBSECRETÁRIO TEM MISSÃO DE ESTRUTURAR REGULAMENTAÇÃO DO SISTEMA BRASILEIRO DE COMÉRCIO DE EMISSÕES (SBCE)

Em meio à consolidação de uma agenda climática cada vez mais integrada às políticas energética, industrial e fiscal, o Brasil avança na construção do seu mercado regulado de carbono. À frente desse processo está Thiago Barral, subsecretário de Implementação da Secretaria Extraordinária do Mercado de Carbono (Ministério da Fazenda), liderada por Cristina Reis.

Com trajetória consolidada na formulação de políticas públicas de energia, Barral assumiu recentemente o desafio de estruturar a fase inicial de regulamentação do Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE) — um dos pilares para dar previsibilidade, credibilidade e valor econômico à redução de emissões no país.

Nesta entrevista, concedida à Conexão Nuclear, Barral fala sobre sua adaptação à nova função, os desafios de harmonizar os marcos legais aprovados nos últimos anos, o cronograma de implementação do SBCE, a importância da integridade do mercado de carbono e o papel estratégico das fontes de energia de baixa pegada de carbono — incluindo a energia nuclear — na competitividade brasileira.

1 – Você completou recentemente dois meses no Ministério da Fazenda. Como tem sido esse período de adaptação e o novo desafio profissional?

Tem sido um período bastante interessante. Depois de quase 18 anos dedicados à política e ao planejamento energético, assumir uma função no Ministério da Fazenda representa um desafio novo e enriquecedor. A agenda do mercado de carbono dialoga diretamente com energia, mercado de capitais, política industrial e política climática. Essa interseção amplia muito o escopo do trabalho e exige uma visão sistêmica, o que torna a experiência particularmente estimulante.

2 – Nos últimos dois anos, o Brasil aprovou um conjunto significativo de marcos legais na área climática e energética. Qual é o principal desafio agora?

O grande desafio é harmonizar esse conjunto de políticas e, principalmente, tirá-las do papel. Foram aprovadas leis muito relevantes, como a do hidrogênio de baixo carbono, da eólica offshore, do combustível do futuro, do Ecoinvest



e, mais recentemente, a lei que cria o Sistema Brasileiro de Comércio de Emissões (SBCE). Agora, o foco está em integrar essas iniciativas, garantir coerência regulatória e estruturar uma implementação que seja técnica, robusta e funcional.

3 – Como está estruturada a equipe responsável pela implementação inicial do SBCE?

A secretaria foi criada justamente para essa fase inicial de implementação. Temos uma equipe pequena, mas multidisciplinar, trabalhando de forma intensiva para avançar na regulamentação enquanto o órgão gestor permanente do sistema não é estruturado. É um trabalho bastante técnico, que envolve diálogo constante com diferentes setores e agentes do mercado.

4 – A implementação do SBCE acontece em um contexto político sensível, com eleições previstas para outubro. Isso preocupa?

A própria lei do SBCE já prevê cinco fases de implementação, com prazos estimados, o que deixa claro que se trata de um processo de médio a longo prazo. Estamos falando de, no mínimo, cinco anos de construção. Não é algo que se resolve rapidamente. Justamente por isso, o foco precisa ser técnico, transparente e baseado em consenso. Quando o processo é bem estruturado, ele ganha resiliência e continuidade, independentemente dos ciclos eleitorais.

5 – Quais são os elementos-chave para garantir essa continuidade e a integridade do mercado?

A integridade é o elemento mais crítico de todo o mercado de carbono. Estamos falando de transparência, qualidade metodológica, sistemas robustos de monitoramento, reporte e verificação, além de uma infraestrutura de mercado confiável, como o registro central em tecnologia da informação. Isso tudo precisa estar alinhado, independentemente de ciclos políticos. Só assim o mercado ganha credibilidade e previsibilidade.

6 – O SBCE prevê diferentes ativos. Quais são eles e como funcionam?

O sistema trabalha basicamente com dois ativos. O primeiro são as Cotas Brasileiras de Emissão (CBE), que funcionam como permissões para emitir gases de efeito estufa dentro dos limites estabelecidos. O segundo são os Certificados de Redução ou Remoção Verificada de Carbono (CRVs), que são os créditos de carbono gerados por projetos que reduzem ou removem emissões. Os CRVs podem ser utilizados pelos setores regulados para cumprir parte de suas obrigações, desde que sigam metodologias credenciadas pelo órgão gestor do SBCE.

7 – Como a energia de baixa pegada de carbono se insere nessa lógica de mercado?

A energia brasileira de baixa emissão é um enorme diferencial competitivo, mas hoje isso ainda não se traduz plenamente em valor econômico. O SBCE é justamente a infraestrutura que permite transformar esse diferencial em valor mensurável, com números, metodologias e transparência. Isso é fundamental para evidenciar a pegada de carbono dos produtos brasileiros, tanto no mercado interno quanto no comércio internacional.

8 – Nesse contexto, como fontes como a energia nuclear podem contribuir?

Fontes de geração com baixa pegada de carbono são estratégicas para a competitividade da indústria brasileira. A

“ O SISTEMA BRASILEIRO DE COMÉRCIO DE EMISSIONES É A INFRAESTRUTURA QUE DARÁ VALOR REAL À ENERGIA DE BAIXO CARBONO DO BRASIL ”

Thiago Barral

energia nuclear, assim como outras fontes limpas, contribui para reduzir o carbono embutido nos produtos, o que será cada vez mais relevante em cadeias globais de valor. O mercado de carbono ajuda a tornar esse atributo visível e comparável, desde que haja integridade e critérios técnicos sólidos.

9 – Há discussões sobre a inclusão do setor elétrico e do chamado “escopo dois” no SBCE. Em que estágio isso está?

Essas são decisões estratégicas importantes e ainda em reflexão. O setor elétrico tem particularidades operacionais relevantes, o que exige cautela na eventual inclusão como setor regulado. Da mesma forma, estamos avaliando a viabilidade e o sentido de incluir o escopo dois, que trata das emissões associadas à energia elétrica consumida nos processos produtivos. Ainda é cedo para cravar o desenho final, mas é certo que o diferencial energético do Brasil será extraordinário no cálculo do carbono embutido nos produtos.

10 – ABDAN: Qual é a mensagem principal para a indústria em relação ao mercado de carbono?

O mercado de carbono não deve ser visto como um fator de perda de competitividade, mas como uma ferramenta de valorização. Um crédito que atende aos requisitos estabelecidos pelo Ministério da Fazenda tende a ter mais valor, mais liquidez e mais aceitação. O objetivo é construir um mercado íntegro, que gere confiança e transforme os diferenciais ambientais do Brasil em vantagens econômicas reais. ■

CREA AQUI 2026: ENGENHARIA EM DESTAQUE PARA PROMOVER INOVAÇÃO

EVENTO EVIDENCIA PAPEL DAS ENGENHARIAS NO AVANÇO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO RIO DE JANEIRO



O setor de engenharia, agronomia e geociências representa dois terços do PIB brasileiro, mas frequentemente só ganha destaque na mídia quando ocorrem acidentes ou problemas. Para mudar essa percepção e valorizar as conquistas e soluções positivas que esses profissionais oferecem à sociedade, o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Rio de Janeiro (CREA-RJ) criou o CREA AQUI, evento que chega à sua segunda edição em 2026 com a expectativa de

reunir mais de 5 mil participantes. Realizado no final de março, o encontro se consolida como um importante espaço de debate sobre inovação, desenvolvimento tecnológico e o papel estratégico da engenharia para o futuro do estado e do país.

“O que motivou a criação do CREA AQUI foi a necessidade de gerar um evento que tivesse o foco em promover as grandes ações do setor das engenharias, da agronomia

“A ENGENHARIA É FUNDAMENTAL PARA O DESENVOLVIMENTO. SEM ELA, É IMPOSSÍVEL TER AVANÇO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL”, MIGUEL FERNÁNDEZ.

e das geociências do estado do Rio de Janeiro”, explica o engenheiro civil Miguel Fernández, presidente do CREA-RJ. Segundo ele, o setor vem sofrendo ataques na opinião pública nos últimos anos, apesar de sua importância fundamental para a economia.

“Muitas vezes o CREA é chamado quando há um acidente, quando tem algum tipo de problema. E a gente aparece muito midiaticamente nesses momentos, mas sem aparecer também nos nossos momentos de vitória, de soluções positivas. A gente entendeu que precisava ter também um momento de divulgação dessa nossa pauta positiva”, afirma.

Realizado pela primeira vez em 2025, quando contou com a participação de mais de 4 mil profissionais, o CREA AQUI se propõe a ser mais do que um simples evento. “Ele traz um conceito”, destaca Fernández. A iniciativa busca aproximar profissionais, estudantes, empresas e instituições das discussões estratégicas sobre engenharia, inovação e desenvolvimento, além de premiar aqueles que mais se destacaram no setor. “O evento tem como objetivo o resgate do orgulho do setor profissional que tem uma profissão tão fundamental para o desenvolvimento econômico, social e ambiental do nosso estado”, ressalta o presidente do CREA-RJ.

A programação deste ano está estruturada para mostrar a importância das engenharias, agronomia e geociências para o desenvolvimento do Rio de Janeiro em todas as suas dimensões. O evento contará com um palco central dedicado a debates temáticos, cerimônia de premiação para destacar profissionais, empresas e instituições que se sobressaíram no ano, eventos culturais para integração e o Espaço Progredir, voltado para palestras de qualificação e capacitação técnica. “A ideia é o aperfeiçoamento da qualificação dos nossos profissionais, levando a eles cada vez mais essa referência de valorização e de competência que o nosso setor tem”, detalha Fernández.

Para o presidente do CREA-RJ, a engenharia é frequentemente negligenciada e até vista de forma negativa pela sociedade, especialmente em questões ambientais: “A engenharia muitas vezes é vista como vilã das questões ambientais. É uma atividade de risco, então quando acontece, infelizmente, algum tipo de fatalidade, é onde ela se destaca no noticiário. Mas nós temos que mostrar a outra parte: não é possível se viver em sociedade se não houver a engenharia de qualidade».

Ele lembra que tudo o que proporciona conforto e desenvolvimento na vida moderna depende da engenharia: energia, infraestrutura de saneamento, habitação, vias públicas e tecnologia. “Se tem tecnologia, tem engenharia, tem CREA-RJ. Esse tem sido o nosso slogan: ‘Se tem tecnologia, tem CREA’”, compartilha.

A defesa da engenharia como pilar do desenvolvimento passa também pelo reconhecimento de seu papel em setores estratégicos. Fernández enfatiza que infraestrutura, energia e tecnologia são áreas nas quais a atuação qualificada de engenheiros é insubstituível. “A gente precisa atuar também na defesa do setor das engenharias porque elas são fundamentais no desenvolvimento da tecnologia, da infraestrutura, da inovação», informa. Segundo ele, essa dimensão estratégica muitas vezes é obscurecida por uma narrativa que associa a engenharia apenas a riscos e problemas, quando na verdade ela é a base para qualquer avanço significativo na qualidade de vida da população.

SETOR NUCLEAR SERÁ DESTAQUE

Um dos destaques da programação deste ano é a participação do setor nuclear nos debates. O Rio de Janeiro é responsável por 100% da energia nuclear gerada no Brasil, e o tema ganhará espaço no primeiro painel do evento, que discutirá o desenvolvimento social, econômico e ambiental do estado através da engenharia.

O presidente da ABDAN, Celso Cunha, foi convidado para participar desse debate inicial. “É fundamental que o nosso estado, que é importante para o setor nuclear, esteja valorizando essa infraestrutura que muitas vezes é atacada de forma covarde por pseudodefensores do meio ambiente”, critica Fernández.

Segundo ele, esses críticos não enxergam o ciclo completo nem compreendem a importância de uma engenharia qualificada para garantir a segurança das operações nucleares. “É isso que os engenheiros profissionais do setor fazem. O CREA vem com esse objetivo de defesa e valorização do nosso setor, e eventos como esse são fundamentais para trazer isso de forma ampla para toda a sociedade”, conclui o presidente do CREA-RJ. ■

RMB SAI DO PAPEL: DESAFIOS, PARCERIAS E LIÇÕES DO PROJETO PALLAS

PROGRAMA ENVOLVEU UMA COMPLEXA ARTICULAÇÃO ENTRE INSTITUIÇÕES NACIONAIS E INTERNACIONAIS

Após mais de uma década de planejamento, revisões e entaves orçamentários, o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) começa, finalmente, a dar passos concretos rumo à sua implantação. Concebido em 2008 pela então Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o projeto é considerado estratégico para o País, tanto pela produção de radioisótopos para a medicina nuclear quanto pelo fortalecimento da pesquisa científica e da soberania tecnológica brasileira.

Inspirado no reator australiano OPAL, o RMB será um reator de pesquisa do tipo piscina aberta, com potência de 30 MW térmicos, a ser instalado em Iperó (SP), junto ao Centro Industrial Nuclear de Aramar. Desde sua concepção, o projeto envolveu uma complexa articulação entre instituições nacionais e internacionais. Em 2013, um acordo bilateral entre Brasil e Argentina estabeleceu a cooperação com a empresa argentina INVAP, responsável pelo projeto nuclear do RMB, em paralelo ao desenvolvimento do reator RA-10, em território argentino.

Ao longo dos anos 2010, o projeto avançou tecnicamente, mas permaneceu estagnado do ponto de vista físico. O projeto básico e o detalhamento dos sistemas nucleares foram conduzidos pela INVAP em parceria com a CNEN, enquanto as edificações e sistemas convencionais ficaram sob responsabilidade da engenharia nacional, com destaque para a atuação da Amazul, empresa vinculada à Marinha do Brasil. Esse esforço conjunto permitiu a conclusão do projeto detalhado em 2022, deixando o empreendimento tecnicamente pronto para a fase de construção.

Para Leonam Guimarães, diretor técnico da ABDAN, as mudanças concretas de governança e gestão “em curso” no Projeto RMB, orientadas a reduzir a reincidência de atrasos e a aumentar a previsibilidade do cronograma, podem ser descritas como um conjunto coerente de medidas de profissionalização do gerenciamento, reforço do arranjo multi-institucional e integração regulatória/contratual, em linha com as lições observadas em projetos como o PALLAS e o RA-10.

A lição mais contundente do PALLAS incorporada como diretriz de gestão do RMB é tratar licenciamento não como etapa posterior, mas como eixo estruturante do projeto,

com diálogo técnico permanente e critérios de aceitação consolidados desde cedo, para evitar mudanças tardias de requisitos que explodem prazo e custo. O próprio material recomenda uma gestão de licenciamento pró-ativa, com interações constantes e documentação evolutiva.

Apesar disso, restrições orçamentárias e indefinições de governança adiaram o início das obras por mais de uma década. Somente entre 2023 e 2024 o cenário começou a mudar, com a liberação de recursos federais, a inclusão do RMB no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) e a garantia de aportes que viabilizaram o início das obras de infraestrutura no início de 2025. A previsão atual aponta para o início da construção principal do reator em 2026 e a conclusão do complexo por volta de 2030.

HISTÓRICO DO RMB EVIDENCIA OS DESAFIOS DE GESTÃO

O histórico do RMB evidencia os desafios de gestão enfrentados por grandes projetos nucleares no setor público brasileiro. A multiplicidade de atores institucionais, a dependência de recursos governamentais e a ausência, por longos períodos, de uma estrutura de gerenciamento robusta contribuíram para atrasos significativos. Nos últimos anos, a CNEN tem buscado responder a essas críticas com maior profissionalização da gestão e fortalecimento da coordenação com parceiros nacionais e internacionais.

Nesse contexto, a experiência internacional oferece aprendizados valiosos. O projeto do reator Pallas, na Holanda — também multipropósito e voltado à produção de radioisótopos médicos —, tornou-se um importante estudo de caso. Desenvolvido com participação da INVAP, o Pallas enfrentou atrasos e revisões decorrentes de desafios regulatórios, contratuais e de integração entre engenharia nuclear e civil.

Entre as principais lições do projeto holandês estão a necessidade de governança clara, com responsabilidades bem definidas; a integração precoce do licenciamento nuclear ao processo de engenharia; a gestão realista de riscos regulatórios e contratuais; e a importância de alinhar, desde o início, as interfaces entre projeto nuclear e obras

SEGURANÇA NUCLEAR NO MAR: BRASIL CONSTRÓI NOVO PARADIGMA REGULATÓRIO

INTEGRAÇÃO ENTRE CULTURA MARINHEIRA E REGULAÇÃO NUCLEAR NAVAL POSICIONA O PAÍS DIANTE DOS DESAFIOS NO AMBIENTE MARÍTIMO

Durante décadas, o debate nuclear, com viés comercial, esteve majoritariamente associado a instalações fixas em terra, como usinas de geração elétrica, reatores de pesquisa e unidades do ciclo do combustível. No entanto, a evolução tecnológica, aliada às novas exigências ambientais e à transição energética global, vem ampliando esse horizonte. Hoje, o emprego da energia nuclear também passa a ser considerado como alternativa estratégica para o ambiente marítimo. Um movimento que impõe desafios inéditos de segurança, regulação e governança.

O Brasil avança na construção de um arcabouço normativo específico para a segurança nuclear naval, integrando conhecimento técnico nuclear, experiência marítima e padrões internacionais de proteção. A Secretaria Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (SecNSNQ), órgão da Marinha do Brasil, desempenha papel central nesse processo ao estruturar uma abordagem regulatória holística voltada às peculiaridades das instalações nucleares embarcadas.

O debate ganha relevância em um momento em que o transporte marítimo responde por uma parcela significativa das emissões globais de gases de efeito estufa. Dados da Organização Marítima Internacional (IMO) indicam que o setor é responsável por cerca de 3% das emissões globais, levando aquela Agência da ONU a estabelecer metas ambiciosas para alcançar emissões líquidas zero até meados do século. A partir dessa agenda climática, intensificou-se a busca por alternativas energéticas de baixa emissão capazes de sustentar o comércio marítimo global. E a energia nuclear é uma dessas opções.

Diferentemente de outras soluções, a nuclear oferece geração contínua, alta densidade energética



e emissão nula de carbono durante a operação. Países que dominam a tecnologia nuclear naval compreendem bem esse potencial e lidam com seus desafios de forma madura há décadas, especialmente no campo da Defesa. No entanto, quando o debate se desloca para aplicações comerciais, surgem novos desafios, sobretudo regulatórios.

O ambiente marítimo impõe riscos distintos daqueles enfrentados por instalações terrestres. Estado do mar, colisões, espaços confinados, falhas estruturais da embarcação e condições operacionais extremas exigem que a segurança nuclear seja



Foto: Cesar Itiberê/PR

civis. Soma-se a isso a relevância da comunicação pública e da legitimidade social, fatores que podem influenciar decisivamente o andamento de empreendimentos nucleares.

Para o RMB, incorporar essas lições é fundamental. Especialistas do setor defendem um modelo de gerenciamento multi-institucional, capaz de integrar CNEN, Amazul, INVAP, empresas brasileiras de engenharia e o órgão regulador, hoje representado pela Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN). A participação ativa da engenharia nacional é vista como estratégica para reduzir riscos, fortalecer a indústria local e assegurar a transferência de conhecimento.

Leonam Guimarães reitera que o maior legado do RMB não é apenas o que ele produz, mas o que ele estrutura. No médio e longo prazo, o RMB pode se tornar:

- O núcleo de uma indústria nuclear nacional mais madura e competitiva;
- A principal escola prática de formação de competências nucleares do país;
- A base experimental indispensável para autonomia tecnológica em combustíveis, materiais e segurança;
- Um marco institucional na capacidade do Estado brasileiro de planejar, executar e operar grandes empreendimentos nucleares.

Em última instância, o RMB tem potencial para trans-

“O MAIOR LEGADO DO RMB NÃO É APENAS O QUE ELE PRODUZ, MAS O QUE ELE ESTRUTURA”, LEONAM GUIMARÃES.

formar o setor nuclear brasileiro de um conjunto de iniciativas fragmentadas em um ecossistema industrial, científico e institucional integrado, com efeitos que ultrapassam em muita sua missão imediata.

Mais do que um projeto de infraestrutura, o RMB representa uma oportunidade de reposicionar o Brasil no cenário da pesquisa nuclear aplicada, especialmente na área da saúde. O sucesso do empreendimento dependerá não apenas da excelência técnica já demonstrada, mas, sobretudo, da capacidade de gestão, coordenação institucional e aprendizado com experiências internacionais. Se bem conduzido, o RMB poderá se tornar um marco para o setor nuclear brasileiro nas próximas décadas. ■

*Colaboração de Leonam Guimarães – Diretor técnico da ABDAN

pensada de forma integrada. Em uma embarcação que possua uma planta nuclear como fonte de energia para si ou para terceiros, não é apenas o reator que precisa ser seguro — o navio ou uma plataforma, em sua totalidade, passa a ser parte essencial do sistema de proteção. Um incêndio a bordo, por exemplo, pode representar risco direto à integridade do reator e deve ser considerado como perigo em uma abordagem sistêmica de segurança.

Essa abordagem está alinhada ao conceito internacionalmente consagrado dos “3S”, promovido pela Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA): Segurança Nuclear (Safety), Segurança Física (Security) e Salvaguardas (Safeguards). No ambiente naval, esses três pilares precisam coexistir de forma ainda mais coordenada, uma vez que a capacidade de deslocamento da embarcação, entre diferentes áreas de operação, adiciona desafios relacionados a controle, monitoramento, proteção física e compromissos internacionais de uso pacífico da energia nuclear.

É justamente nesse ponto que a atuação da SecNSNQ se diferencia. A Secretaria adota uma visão holística, tratando a embarcação com planta nuclear como uma unidade funcional indivisível. A segurança não é fragmentada entre casco, sistemas navais e planta nuclear, mas integrada em um único modelo regulatório que considera todas as interações possíveis entre esses elementos.

A base legal para essa atuação foi consolidada no Brasil com a promulgação da Lei nº 14.222/2021, que redefiniu o modelo regulatório nuclear nacional ao reconhecer que ativos móveis no mar ou em rios exigem tratamento distinto das instalações fixas em terra. A partir dessa reorganização, coube à Marinha do Brasil, empregando a Secretaria Naval de Segurança Nuclear e Qualidade (SecNSNQ), a competência exclusiva sobre a regulação, licenciamento, fiscalização e controle de meios navais que empregam plantas nucleares embarcadas.

Nesse arranjo, o País assume uma posição singular no mundo ao acumular as funções de Autoridade Marítima e Autoridade Regulatória Nuclear Naval em sua Força Naval. Essa dupla expertise permite integrar as tradicionais tarefas de proteção da vida humana no mar, da segurança da navegação e de prevenção da poluição do meio ambiente marinho

com os requisitos basilares da segurança nuclear. A SecNSNQ atua como o núcleo técnico regulador responsável por desenvolver normas, supervisionar projetos, licenciar sistemas, realizar inspeções

e acompanhar todo o ciclo de vida das plantas nucleares embarcadas.

Atualmente, esse arcabouço normativo já conta com documentos regulatórios, refletindo o esforço brasileiro em antecipar tendências e alinhar-se às melhores práticas internacionais. Mais do que responder a demandas atuais, o trabalho da SecNSNQ acompanha de perto o movimento global de estudos, debates e experiências internacionais sobre nuclearização de aplicações marítimas comerciais, atualizando continuamente as normas nacionais para manter aderência ao cenário internacional.

Um dos grandes desafios desse processo é a harmonização regulatória internacional. Diferentemente de uma usina em terra, uma embarcação nuclear pode operar em águas internacionais, atracar em diferentes portos e estar sujeita a múltiplas jurisdições estatais. Questões como responsabilidade civil, seguros, licenciamento, aceitação pública e acordos bilaterais tornam-se centrais. Nesse cenário, o problema não é a tecnologia em si — já dominada —, mas a construção de consensos regulatórios, padrões comuns e marcos legal compatível entre os países.

A experiência brasileira demonstra que a integração entre conhecimento marítimo e nuclear é fundamental para enfrentar esses desafios. Ao acompanhar fóruns internacionais, participar de estudos técnicos e dialogar com diferentes atores institucionais, a SecNSNQ contribui para que o Brasil esteja preparado não apenas para suas necessidades estratégicas, mas também para um futuro em que aplicações nucleares marítimas comerciais possam se tornar realidade.

Mais do que acompanhar uma tendência global, a Marinha do Brasil contribui para que o Brasil construa, com base técnica e institucional, um modelo próprio de segurança nuclear naval, preparado para dialogar com o mundo e responder às exigências de uma transição energética cada vez mais complexa.

“Estamos falando de uma mudança de paradigma. A segurança nuclear naval exige uma visão sistêmica, que considere o meio marítimo, a embarcação, a planta nuclear, as instalações portuárias e suas infraestruturas e, por último, mas não menos importante, a Força de Trabalho envolvida em todo o processo, como partes indissociáveis de um mesmo sistema”, explica o Secretário Naval de Segurança Nuclear e Qualidade, ■

CREA AQUI

TEM TECNOLOGIA,
TEM CREA

O maior encontro da Engenharia, Agronomia e Geociências do Rio de Janeiro



Saiba mais

Profissional,
regularize-se junto
ao CREA-RJ

Pier
Mauá
Armazém 3
Rio de Janeiro

Realização



CREA-RJ
Conselho Regional de Engenharia,
e Agronomia do Rio de Janeiro



Apoio Institucional



CONFEA
Conselho Nacional de Engenharia
e Agronomia



MÚTUA RJ
Cajás de Assistência aos Profissionais de Crea

Parceria Social



A CONSTRUÇÃO SILENCIOSA DA CONFIANÇA NUCLEAR

COMO A ANSN ESTRUTURA A REGULAÇÃO QUE SUSTENTARÁ O FUTURO DO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO



Ainda por completar um ano da aprovação de sua primeira diretoria colegiada pelo Senado Federal, a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN) atravessa uma fase decisiva de sua história. Criada para separar, de forma definitiva, as funções de promoção e regulação do setor nuclear no Brasil, a Agência vive hoje o que seu diretor-presidente, Alesandro Facure, define como “a travessia entre a criação formal do órgão e sua capacidade plena”.

Desde o início de suas operações efetivas, em 29 de agosto de 2025, a ANSN assumiu uma responsabilidade complexa: garantir a continuidade da supervisão nuclear no país ao mesmo tempo em que constrói, praticamente do zero, sua própria estrutura institucional, administrativa e regulatória. Trata-se de um processo silencioso, técnico e pouco visível ao público, mas absolutamente central para o futuro da energia nuclear, da medicina

nuclear, da pesquisa científica e do ciclo do combustível no Brasil.

“A Autoridade toma decisões, realiza análises e inspeções preservando a segurança das instalações e atividades enquanto organiza a própria estrutura administrativa”, afirma Facure. “Isso só é possível pelo nível excepcional do nosso corpo técnico.”

DA CRIAÇÃO LEGAL À INDEPENDÊNCIA REAL

A independência da ANSN não se resume ao texto da lei. Ela precisa ser materializada em orçamento próprio, patrimônio, sede adequada, sistemas administrativos autônomos e um quadro técnico estável. Segundo Facure, esse é hoje o principal desafio institucional da Autoridade.

O modelo herdado, concebido para outra realidade organizacional, exige ajustes profundos. Em

COMO A ANSN ESTRUTURA O FUTURO DA CONFIANÇA NUCLEAR

Autarquia criada pela Lei 14.222 de 2021, a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear separa de forma definitiva as funções de promoção e **regulação** do setor



ABDAN

paralelo, a Agência trabalha no provimento de um concurso público e na estruturação de uma carreira regulatória compatível com uma autoridade de Estado. Um passo considerado essencial para garantir continuidade técnica ao longo dos anos.

“Estamos organizando uma base institucional que permita à ANSN existir para além de ciclos políticos”, resume o diretor-presidente.

CAPACIDADE REGULATÓRIA ALÉM DA TÉCNICA

A estruturação da ANSN vai além da formação de equipes e da definição de fluxos internos. Um dos eixos centrais da atuação atual é tornar a regulação nuclear institucionalmente reconhecida e compreendida pela sociedade.

Nesse sentido, a Autoridade investiu em comunicação institucional, lançou seu site oficial e ampliou a transparência ativa de suas decisões e atividades. Outro avanço relevante é a adaptação ao novo arcabouço trazido pela Lei nº 14.222/2021, que conferiu à ANSN um poder sancionatório mais robusto.

“Nosso objetivo é alinhar poder de polícia administrativa com segurança jurídica”, explica Facure. “A capacidade regulatória não pode ser apenas téc-

NO SETOR NUCLEAR, A CONFIANÇA PÚBLICA NÃO SE CONSTRÓI EM MOMENTOS DE CRISE, MAS NA ROTINA DA REGULAÇÃO.

nica; ela precisa ser exercida com previsibilidade e compreensão pública.”

PREVISIBILIDADE: O CORAÇÃO DA SEGURANÇA REGULATÓRIA

Historicamente, um dos principais pleitos do setor nuclear brasileiro sempre foi a previsibilidade regulatória. Para a ANSN, esse conceito não está associado à flexibilização de exigências, mas à estabilidade do critério técnico ao longo do tempo.

A estratégia da Autoridade passa pela atualização de normas, elaboração de guias técnicos e formalização de procedimentos de análise. A meta é

reduzir a dependência de interpretações individuais e tornar o processo regulatório reproduzível, verificável e transparente.

“O setor não precisa de soluções negociadas. Precisa saber exatamente o que deve demonstrar em termos de segurança para que a análise chegue a uma conclusão técnica verificável”, afirma Facure.

SMRS: PREPARAR ANTES DE REGULAR

A chegada dos pequenos reatores modulares (SMRs) impõe um novo desafio aos reguladores: analisar tecnologias que ainda não possuem histórico operacional consolidado. Para Facure, a preparação precisa anteceder qualquer submissão formal de projeto.

A ANSN acompanha o tema em fóruns internacionais como a iniciativa de Harmonização e Padronização Nuclear da AIEA e o MDEP, da Agência de Energia Nuclear da OCDE. Além disso, a Autoridade vem estruturando cooperações bilaterais e participando de intercâmbios técnicos com países que já avançam na área.

“Quando um empreendimento desse tipo for submetido no Brasil, a análise será nacional, mas baseada em experiência técnica internacional já acumulada”, explica.

MINERAÇÃO E CICLO DO COMBUSTÍVEL: CONFIANÇA COMO PRÉ-REQUISITO

A expansão da mineração de urânio e do ciclo do combustível nuclear depende menos de viabilidade econômica e mais de confiança regulatória permanente, avalia Facure. Nesse contexto, a ANSN atua em sinergia com o Ministério de Minas e Energia para que os requisitos regulatórios sejam considerados desde a fase de planejamento das políticas públicas.

“A atividade só avança quando há confiança de que o controle será permanente e verificável”, afirma. “Sem essa base, o empreendimento não se sustenta ao longo do tempo.”

COMUNICAÇÃO DE RISCO E PRESENÇA CONTÍNUA

No setor nuclear, a confiança pública não se constrói em momentos de crise, mas na rotina da regulação. A ANSN aposta em transparência ativa, linguagem acessível e presença institucional constante.

Além da divulgação de decisões e critérios técnicos, a Autoridade amplia o diálogo com universidades, profissionais de saúde e imprensa especializada. A premissa é clara: quando a sociedade compreende como o controle funciona no dia a dia, o debate sobre riscos e benefícios se qualifica.

INSERÇÃO INTERNACIONAL E CREDIBILIDADE DO BRASIL

No cenário internacional, a credibilidade nuclear de um país está diretamente associada à qualidade e independência de seu regulador. A ANSN busca participação ativa em fóruns multilaterais, não apenas como receptora de normas, mas como agente na construção de referenciais globais de segurança.

Essa atuação fortalece a posição do Brasil em cooperações técnicas, projetos industriais e compromissos de longo prazo ligados à transição energética e à agenda climática.

WORKSHOP ANSN-ABDAN: ALINHAMENTO TÉCNICO NA PRÁTICA

Previsto para os próximos meses, o workshop conjunto entre a ANSN e a Associação Brasileira para o Desenvolvimento das Atividades Nucleares terá caráter técnico e objetivo: alinhar expectativas, esclarecer critérios e reduzir incertezas nos processos regulatórios.

“Não se trata de alterar exigências, mas de tornar os critérios mais claros”, explica Facure. “Quanto melhor o setor compreender como a análise é conduzida, mais objetiva será a tramitação dos processos.”

REGULAÇÃO COMO POLÍTICA DE ESTADO

Ao projetar os próximos cinco anos, Facure visualiza uma ANSN plenamente estruturada, com quadro técnico completo, orçamento estabilizado e infraestrutura própria. Nesse cenário, a regulação deixa de ser um fator de incerteza e passa a ser um pilar de continuidade.

“O regulador não promove empreendimentos”, comenta. “Mas cria as condições para que eles existam com segurança e permanência. Quando essa base está estabelecida, o desenvolvimento deixa de ser episódico e passa a ser política de Estado.”

REFORÇO ESTRUTURAL E RENOVAÇÃO TÉCNICA

Recentemente, a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN) recebeu a primeira turma de servidores aprovados em concurso público, incorporando 50 novos profissionais às áreas técnicas da sede e das unidades do IRD (RJ) e de Poços de Caldas (MG). A iniciativa representa um marco na consolidação institucional da Agência, após mais de uma década sem novas admissões, fortalecendo a capacidade regulatória, científica e operacional da Autoridade. (Fonte: GOV/ANSN) ■



EXTRAÇÃO DE URÂNIO SEM MINAS A CÉU ABERTO

COMO FUNCIONA A LIXIVIAÇÃO IN SITU (ISR)

O processo consiste na injeção controlada de uma solução no corpo mineralizado, promovendo a dissolução do urânio e sua posterior recuperação na superfície, sem necessidade de escavação a céu aberto.

1. INJEÇÃO DA SOLUÇÃO

Por meio de poços de injeção, é introduzido um reagente de baixa concentração que mobiliza o urânio presente na rocha permeável.

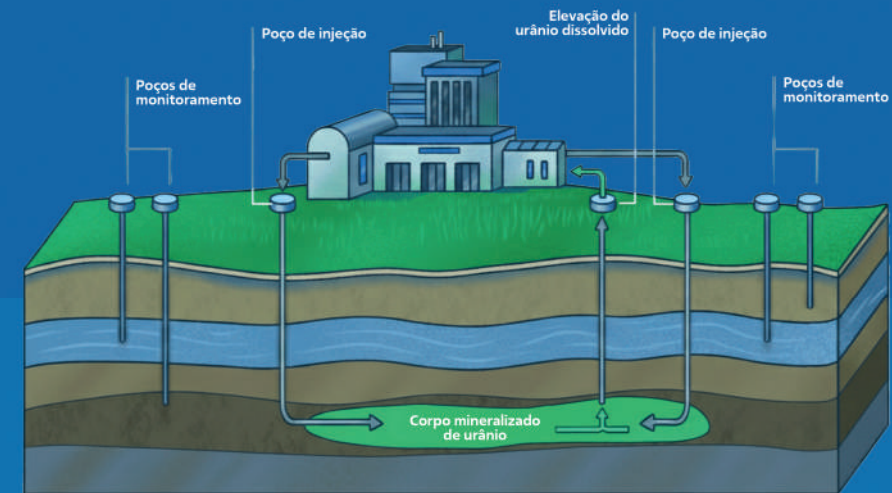
2. ELEVAÇÃO DA SOLUÇÃO “PRODUTIVA”

A solução contendo urânio dissolvido é bombeada à superfície por meio dos poços de produção.

3. RECUPERAÇÃO DO URÂNIO E RECIRCULAÇÃO DA SOLUÇÃO

O urânio é recuperado por troca iônica e processos hidrometalúrgicos, resultando no concentrado conhecido como yellowcake. Após a extração, a solução retorna ao aquífero mineralizado, fechando o ciclo operacional.

Poços de monitoramento ao redor da área permitem o acompanhamento contínuo dos parâmetros das águas subterrâneas.



COMO A OPERAÇÃO SE APRESENTA NA SUPERFÍCIE

Em vez de uma mina a céu aberto, a operação conta com uma plataforma industrial compacta, composta por poços, tubulações, bombas e sistemas de controle. A paisagem permanece praticamente inalterada, pois a principal etapa do processo ocorre no horizonte mineralizado subterrâneo.



Depósito Dobrovolskoye (Região de Kurgan, Rússia)

2009 →

A ISR torna-se o método predominante de extração de urânio no mundo.

≈60–70% →

Participação estimada da ISR na produção global de urânio atualmente.

6+ PAÍSES LÍDERES

Cazaquistão, Uzbequistão, Rússia, China, Estados Unidos e Austrália utilizam a ISR como principal método de produção de urânio, entre outros países produtores.

LIXIVIAÇÃO IN SITU DE URÂNIO: TECNOLOGIA E EXPERIÊNCIA DA ROSATOM

LÍDER GLOBAL NO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR, A ROSATOM CONSOLIDA A LIXIVIAÇÃO IN SITU COMO MÉTODO DOMINANTE DE PRODUÇÃO DE URÂNIO, COMBINANDO EFICIÊNCIA ECONÔMICA, CONTROLE DIGITAL E RIGOR AMBIENTAL

A Rosatom está entre as poucas empresas do mundo com competência plena em toda a cadeia do combustível nuclear, da mineração de urânio à fabricação de combustível e à operação de usinas nucleares. O grupo desenvolve projetos de mineração e exploração na Rússia e no exterior, acumulando sólida experiência técnica e ambiental em métodos modernos de produção.

Uma das tecnologias-chave das últimas décadas é a lixiviação in situ (ISR). O método permite extrair urânio sem minas subterrâneas ou a céu aberto, com impacto mínimo na superfície e monitoramento digital contínuo. Hoje, a ISR é o principal método de produção de urânio no mundo e é considerada a solução mais madura, segura e ambientalmente equilibrada do setor nuclear. Tecnologias modernas, controle permanente e rigor regulatório reduzem impactos sobre as águas subterrâneas e asseguram elevados padrões ambientais.

COMO FUNCIONA A ISR

A lixiviação in situ é um método físico-químico no qual a rocha não é removida para a superfície durante o processo. O urânio é extraído por meio da circulação controlada de soluções no aquífero mineralizado. Diferentemente da mineração convencional, instala-se apenas uma infraestrutura compacta na superfície, enquanto o processo ocorre no subsolo.

O método baseia-se na criação de um sistema hidrogeológico controlado dentro do horizonte mineralizado, a camada onde o urânio está concentrado em níveis economicamente aproveitáveis. Perfura-se uma malha de poços tecnológicos. Parte deles — os poços de injeção — recebe solução reagente, geralmente ácido sulfúrico diluído (0,5–1,0%), que opera em circuito fechado.

A solução percorre a rocha permeável, reage com os minerais de urânio e os converte em forma solú-

vel. A solução rica é então bombeada à superfície pelos poços de produção.

Na unidade de processamento, o urânio é recuperado por troca iônica ou outros processos hidrometalúrgicos, produzindo concentrado de urânio (U_3O_8), o yellowcake, destinado à fabricação de combustível nuclear. A solução tratada retorna ao aquífero. O ciclo é fechado e se repete até o esgotamento econômico do depósito.

A segurança baseia-se no isolamento geológico do horizonte mineralizado, normalmente confinado entre camadas de baixa permeabilidade. Poços de monitoramento garantem controle contínuo da qualidade das águas subterrâneas. A pressão é mantida para evitar migração da solução, e sistemas automatizados permitem ajustes imediatos ou interrupção da operação, se necessário.

SEGURANÇA E IMPACTO AMBIENTAL MÍNIMO

A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) considera a ISR o método de menor impacto ambiental na produção de urânio. Não há escavação, detonações nem remoção massiva de rocha. Assim, não se formam pilhas de estéril ou barragens de rejeitos que exijam grandes áreas e monitoramento prolongado.

Na superfície, instala-se apenas uma infraestrutura compacta composta por poços, bombas, tubulações e sistemas de controle. Em vez de equipamentos pesados e transporte contínuo de minério, opera um sistema fechado de circulação de soluções, limitado a uma zona subterrânea delimitada.

O processo funciona em ciclo fechado: após a recuperação do urânio, a solução é tratada e reinjetada. A água circula majoritariamente no próprio sistema, reduzindo a captação externa. Todos os parâmetros são monitorados continuamente.

A segurança combina barreiras naturais e tecnológicas. A lixiviação ocorre em um horizonte geologicamente isolado de outros aquíferos por formações de baixa permeabilidade.

Ao final da operação, os poços são selados, os equipamentos removidos e a área recuperada. Processos geoquímicos naturais contribuem para neutralizar reagentes residuais e restabelecer as condições originais do aquífero. A prática internacional demonstra que, cumpridas as exigências técnicas e ambientais, a área pode retornar a usos produtivos, como agricultura ou pastagem.

Assim, a ISR evita os impactos típicos da mineração convencional e permite conciliar a produção de um recurso estratégico com a preservação ambiental.

VANTAGENS ECONÔMICAS

A lixiviação in situ começou a se desenvolver nos anos 1960 e, ao final da primeira década do século 21, tornou-se o método dominante de produção de urânio no mundo. Se em 2005 representava cerca de 20% da produção global, hoje responde por aproximadamente 60–70%. Esse avanço foi impulsionado pela combinação de menor impacto ambiental e alta eficiência econômica. O método é amplamente utilizado no Cazaquistão, Uzbequistão, Rússia, Austrália, China e Estados Unidos.

Um dos fatores decisivos para o sucesso da ISR foi a viabilização de depósitos do tipo aquífero antes considerados economicamente complexos. Esses depósitos apresentam alta saturação hídrica, instabilidade geotécnica e baixos teores de urânio — muitas vezes em décimos ou centésimos de por cento. Em métodos convencionais, tais características elevavam significativamente os custos. A ISR, por sua vez, permite sua exploração de forma técnica e economicamente eficiente.

O modelo econômico difere substancialmente da mineração subterrânea ou a céu aberto. Os investimentos concentram-se na perfuração da malha de poços, uma operação relativamente simples na indústria mineral. Não há remoção massiva de estéril nem construção de pilhas de rejeito ou infraestrutura pesada de transporte, o que reduz custos de capital e operacionais.

Outro benefício é o maior nível de segurança ocupacional: as equipes trabalham na superfície, sem atividades subterrâneas. Como resultado, a ISR apresenta custos de produção inferiores aos

métodos tradicionais, mantendo elevados padrões de segurança.

EXPERIÊNCIA DA ROSATOM

Desde 2018, a Rosatom integra o grupo dos três maiores produtores de urânio do mundo. Nos últimos 15 anos, sua produção mais que dobrou, alcançando 8.586 toneladas em 2024. Esse resultado decorre principalmente da expansão da ISR no Cazaquistão e na Rússia. A participação do urânio produzido por ISR no portfólio da empresa passou de 17% para 88%, sendo 78% provenientes de joint ventures no Cazaquistão.

A cooperação de longo prazo entre especialistas russos e cazaques em tecnologia, hidrogeologia e monitoramento ambiental contribuiu para consolidar padrões técnicos aplicáveis a depósitos do tipo aquífero.

Na Rússia, a ISR é aplicada nas empresas da divisão mineral da Rosatom — especialmente na AO Dalur (região de Kurgan), que desenvolve os depósitos Dalmatovskoye, Khokhlovskoye e Dobrovolnoye, e na AO Khiagda (República da Buriátia), responsável pela produção no campo mineral de Khiagda.

Nos ativos russos, opera a plataforma digital “Mina Inteligente”, que integra sistemas automatizados de controle do fluxo de soluções, assegurando a separação entre o circuito tecnológico e as águas subterrâneas. O monitoramento contínuo dos aquíferos é requisito obrigatório de segurança.

A experiência acumulada confirma que a ISR é um método industrialmente consolidado, aplicado sob diferentes regimes regulatórios e ambientais. A prática internacional demonstra que, quando operada conforme padrões técnicos rigorosos, a ISR é a forma mais ambientalmente responsável de produção de urânio.

Para a América Latina — e particularmente para o Brasil — a tecnologia amplia as possibilidades de aproveitamento racional das reservas minerais. Parte dos recursos permanece inexplorada por razões geológicas ou econômicas. A ISR permite avaliar depósitos profundos e de baixo teor como viáveis, com mínima interferência na paisagem e controle avançado. O ciclo fechado de soluções, o monitoramento digital e a recuperação ambiental posicionam a tecnologia como instrumento de desenvolvimento sustentável do ciclo do combustível nuclear e de fortalecimento da segurança energética. ■

NÓS SOMOS A **ABDAN**

38 anos promovendo o

DESENVOLVIMENTO DO SETOR NUCLEAR!



BUTTING



framatome



TAM International LP

