



Informativo da Associação Brasileira
de Energia Nuclear
Ano 31 • Número 58 • Novembro 2025

BRASIL NUCLEAR

NO CORAÇÃO DO DATA CENTER

Grandes empresas de Tecnologia da Informação apostam na fonte nuclear para suprir demanda por energia firme e sustentável

Segurança jurídica para investimentos no setor nuclear

Criação da ANSN traz clareza nas regras e estabilidade nos processos de licenciamento



Editorial	
Energia nuclear: elemento estratégico para um Brasil mais seguro, competitivo e sustentável	3
Entrevista	
Alessandro Facure, diretor-presidente da Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN)	4
Capa	
A busca dos data centers por energia estável e sustentável	7
Investimento das Big Techs	
Tecnologia	
O efeito tecnológico multiplicador gerado pelo desenvolvimento do Submarino Nuclear Convencionalmente Armado (SNCA) brasileiro: ciência, soberania e futuro	11
Indústria	
O amanhecer nuclear do Brasil: como a INB pode liderar a nova era da energia limpa	14
Aplicação	
Medicina Nuclear: o cenário atual brasileiro	16
Átomos	
Brasil vence Global Hackatom na World Atomic Week	18

Presidente da Aben
Carlos Henrique da Silva Seixas

Diretor de Comunicação
Jairo Bastos

Conselho Editorial
Carlos Freire Moreira
Carlos Henrique C. Mariz
Edson Kuramoto
Francisco Rondinelli
Márcia Flores
Olga Mafra
Olga Simbalista

Editora
Vera Dantas

Colaboradora
Pamela Alves

Edição de Arte
IG+ Comunicação Integrada

Brasil Nuclear é uma publicação da Associação Brasileira de Energia Nuclear - Aben
Rua Candelária, 65 • sala 303 • Centro Rio de Janeiro • RJ • CEP: 20091-906
Tel: (55 21) 2266 0480
aben@aben.org.br • www.aben.org.br

Energia nuclear: elemento estratégico para um Brasil mais seguro, competitivo e sustentável

O debate global sobre transição energética ganhou uma nova dimensão. Se antes a discussão girava em torno da substituição de fontes fósseis por alternativas renováveis, hoje o desafio é ainda maior: garantir segurança energética, competitividade industrial, descarbonização e estabilidade no fornecimento em um mundo que se torna, rapidamente, mais digital, mais elétrico e mais dependente de energia firme.

Nesse contexto, consolida-se de forma incontestável o papel da energia nuclear como componente estratégico das matrizes energéticas modernas. Países desenvolvidos e emergentes, independentemente de suas características territoriais ou climáticas, vêm reafirmando a necessidade de ampliar ou retomar investimentos em geração nuclear, motivados pela combinação singular de confiabilidade, baixo impacto ambiental, alta densidade energética e previsibilidade operacional.

O Brasil, apesar de privilegiado por sua matriz predominantemente renovável, não está alheio a essa realidade. A crescente demanda por eletricidade, impulsionada por setores como inteligência artificial, data centers, indústria de alta tecnologia, mobilidade elétrica e expansão urbana requer respostas estruturadas, que conciliem sustentabilidade e segurança. A energia nuclear limpa, firme e de base se apresenta como um pilar essencial nessa construção.

Além do seu papel na geração elétrica, o setor nuclear brasileiro possui uma vocação singular: a capacidade

de irradiar benefícios para múltiplas áreas estratégicas. Da medicina nuclear ao agronegócio, da pesquisa científica à defesa, das aplicações industriais à inovação tecnológica, trata-se de um ecossistema robusto, capaz de fortalecer cadeias produtivas, gerar empregos qualificados e ampliar a autonomia tecnológica do país.

Esta edição da **Brasil Nuclear** destaca justamente esse mosaico de aplicações, desafios e oportunidades. Ao reunir análises, entrevistas e reportagens que tratam desde o avanço dos pequenos reatores modulares até a expansão da medicina nuclear, passando pela importância de um ambiente regulatório moderno e independente, buscamos oferecer ao leitor um panorama claro e atualizado do momento especial que o setor vive.

É preciso reconhecer que os avanços recentes como a consolidação da Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN), os debates sobre reatores avançados, o fortalecimento do Programa Nuclear Brasileiro e o crescente interesse internacional pela capacidade energética do país representam passos decisivos para a construção de uma política nuclear de Estado, estável e de longo prazo.

A energia nuclear, quando orientada por rigor técnico, transparência e responsabilidade, não apenas reforça a segurança energética nacional, mas também contribui diretamente para metas climáticas, para a inovação em saúde, para a competitividade industrial e para a projeção internacional do Brasil.

Que esta edição inspire reflexões, amplie o diálogo e fortaleça a compreensão coletiva de que o desenvolvimento do setor nuclear não é apenas uma escolha tecnológica, mas uma decisão estratégica para o futuro do país.

Por fim, é impossível olhar para o futuro da energia nuclear no Brasil sem destacar o papel estratégico de Angra 3. A usina, cuja construção já mobilizou conhecimento técnico, infraestrutura e uma cadeia produtiva altamente especializada, representa um ativo energético de enorme valor para o país. Sua conclusão garantirá a entrada de uma nova fonte de geração firme, estável e livre de emissões, fortalecendo a segurança elétrica em um momento em que a demanda cresce de forma acelerada. Mais do que ampliar a oferta, avançar com Angra 3 significa honrar investimentos já realizados, preservar competências tecnológicas nacionais e reafirmar um compromisso claro com o planejamento de longo prazo. Defender a continuidade das obras não é apenas uma questão de engenharia ou economia é uma decisão estratégica que coloca o Brasil em posição mais competitiva, resiliente e preparada para os desafios energéticos das próximas décadas.

Boa leitura a todos.

Carlos Seixas
Presidente da Aben

Uma autoridade regulatória independente é um grande ativo econômico

Alessandro Facure, diretor-presidente da ANSN

A separação entre as atividades de promoção e de regulação, uma exigência internacional de governança no setor nuclear, é uma demanda de mais de três décadas no Brasil. Quando ingressou na Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), em 2002, o debate sobre a criação de uma autoridade de segurança nuclear existia há vinha sendo travado pelo menos 10 anos. “Na época, já se falava que a autoridade nacional estava prestes a nascer”, lembra Alessandro Facure, diretor-presidente da Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN), autarquia criada em 14 de maio de 2021 pela Medida Provisória (MP) 1.049, que iniciou suas atividades em agosto passado. Facure começou a atuar no setor nuclear em 1996, como bolsista no Laboratório de Física Nuclear da Universidade Federal Fluminense (UFF). Físico pela UFF, fez mestrado em Radioecologia na mesma instituição e doutorado em Física Médica na UFRJ, tendo defendido tese na área de Radioterapia. Na universidade, orientou pós-graduandos na área de Tecnologia Nuclear Aplicada à Medicina. Na Cnen, trabalhou com pesquisa e ensino e, posteriormente, assumiu funções técnicas e de gestão. Foi diretor de Radioproteção e Segurança de 2003 até agosto, quando assumiu a presidência da ANSN. Em entrevista a Vera Dantas, da **Brasil Nuclear**, Facure fala sobre o processo de desmembramento da Cnen, os “enormes” desafios que se colocam para a Autoridade e da expectativa de crescimento de setores como mineração, irradiação de alimentos e medicina nuclear com o novo modelo de gestão. “Quando há clareza nas regras e estabilidade nos processos de licenciamento, os investimentos naturalmente fluem”, afirma.

Embora seja uma demanda antiga do setor nuclear, a Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN) foi criada somente em 2021 e sua ativação ocorre quatro anos depois. Quais os motivos para um processo tão longo?

Quando ingressei na Cnen, em 2002, a criação de uma autoridade de segurança era um tema que vinha sendo debatido há 10 anos. O objetivo era corrigir uma distorção jurídica acumulada por décadas, que tornava nossa atividade regulatória incompatível com as normas internacionais e com os acordos de segurança a que Brasil aderiu. A criação da ANSN garante a independência regulatória ao separar as atividades de licenciamento e fiscalização, o que eleva a credibilidade do país e demonstra ao mundo e à sociedade nosso compromisso com a segurança e a governança do setor nuclear.

Como foi o processo de separação da Cnen?

É um processo que ainda está em curso, obedecendo as determinações da Portaria Interministerial 9.326/2025, emitida para garantir uma transição ordenada, sem interrupções das atividades relacionadas à segurança ou dos compromissos internacionais aos quais o Brasil aderiu. Parte do patrimônio e dos recursos humanos da Cnen está sendo transferido para a ANSN, mas nosso orçamento ainda é gerenciado pela Comissão. Enquanto a Cnen continua responsável pelas atividades de pesquisa, desenvolvimento e prestação de serviço, a ANSN assumiu todas as funções regulatórias, os processos de licenciamento, de fiscalização de materiais nucleares e de aplicação de sanções.

Foto: Ana Paula Freire/ANSN



Ao criar a ANSN, o Estado brasileiro transmite previsibilidade e segurança jurídica. Quando há clareza nas regras e estabilidade no licenciamento, os investimentos fluem

Alessandro Facure

Quando a ANSN pretende concluir esse processo de transição?

Num primeiro momento, estamos buscando sede própria. A lei estabelece que nossa sede é no Rio de Janeiro, mas vamos deixar a sede da Cnen.

Há obrigatoriedade de separar fisicamente as sedes das duas autarquias?

Partindo do princípio de que o principal motivador da separação é eliminar

conflitos de interesse, a ideia é que a Autoridade tenha independência em todos os sentidos. Por isso, estamos buscando uma nova sede. Também estamos negociando com a Cnen a cessão de servidores das áreas de gestão e de governança, cujo quadro era compartilhado enquanto um órgão único. A portaria interministerial prevê que a transição transcorrerá em dois anos e poderá ser prorrogada por igual período caso os presidentes de ambas autarquias assim decidam.

Em uma entrevista à Brasil Nuclear, o presidente da Cnen, Francisco Rondinelli, declarou-se contrário à simples divisão dos recursos humanos entre as duas autarquias, uma vez que a Cnen não conseguiu repor as vagas dos servidores que se aposentaram. Isso remete a uma outra pergunta: uma vez que alguns cargos deverão ser duplicados, vai aumentar o número de recursos humanos?

Estamos observando que o mundo vive um momento muito auspicioso para a área nuclear, principalmente no contexto da transição energética e da descarbonização. O Brasil tem grande potencial na atividade de mineração de urânio – uma commodity hoje muito valorizada – e somos um dos poucos países que dominam a tecnologia do ciclo do combustível. A criação da ANSN, neste momento, é uma sinalização que o Estado brasileiro emite sobre a necessidade de termos um órgão de segurança nuclear. Ao dar esse passo, o Estado transmite previsibilidade e segurança jurídica para investidores. Uma autoridade regulatória independente é um grande ativo econômico. Por isso, não faz sentido o governo criar um órgão com uma missão tão importante e não abastecê-lo com os recursos necessários para que possa atuar plenamente. O ministro de Minas e Energia, Alexandre Silveira, tem sinalizado sua intenção e interesse em desenvolver a área nuclear do país. Isso passará, necessariamente, por um robustecimento da ANSN, seja em recursos humanos como em estrutura. Devemos ser capazes de consolidar uma estrutura que nos permita cumprir com nossas atribuições.

Qual a estrutura atual da ANSN e qual ela deve ter dentro de dois anos?

A ANSN nasceu a custo zero, a partir da separação da Cnen. Por isso, ainda não contamos com todas as estruturas funcionais necessárias para lidar com os desafios que se colocam para uma autoridade regulatória nuclear independente.

O senhor pode dar um exemplo?

A Lei 14.222, que criou a ANSN, prevê a existência de um sistema robusto de aplicação de sanções e multas pecuniárias. Enquanto éramos parte da Cnen, não detínhamos a prerrogativa legal de realizar esses processos, o que acontece hoje. No entanto, para estabelecer esse processo administrativo

sancionador, precisamos contar com uma estrutura apta a lidar com o fluxo de informações e documentos gerados no processo de aplicação, ou não, de uma sanção. No momento, não temos essa estrutura. Também não contamos com uma assessoria parlamentar, aspecto igualmente importante para a atividade das agências reguladoras. E, ainda, não temos como comportar, neste momento, uma corregedoria. Ou seja, a ANSN precisa se robustecer para lidar com os enormes desafios que tem pela frente.

Há uma expectativa na área nuclear que a criação de uma autoridade regulatória beneficie os setores de mineração, irradiação de alimentos e de saúde (diagnósticos e tratamentos). Qual a base dessa expectativa?

A base dessa expectativa é o fato de um ambiente regulatório previsível e independente ser um grande ativo econômico. Quando há clareza nas regras e estabilidade nos processos de licenciamento, os investimentos naturalmente fluem. A ANSN criará condições para que os empreendedores tenham segurança jurídica para investir, por exemplo, em mineração de urânio, em plantas de irradiação de alimentos, na expansão da medicina nuclear – que hoje salva milhares de vidas por meio de diagnósticos e terapias com radiofármacos modernos. O regulador moderno é um indutor do desenvolvimento seguro e sustentável.

Um dos grandes problemas enfrentados pela área nuclear é o déficit de recursos humanos, devido à falta de reposição do pessoal que se aposenta. Mais uma vez citando o presidente da Cnen, em 2023 a Cnen precisava preencher 1.800 vagas. Qual a estratégia da ANSN para enfrentar esse problema?

Esse déficit de recursos humanos é real, acumulado ao longo de décadas. O último concurso da Cnen foi em 2014. Está previsto que a ANSN receba 50 vagas do concurso da Cnen que está em andamento. Isso nos proporcionará uma reposição muito pequena do nosso quadro técnico, mas é apenas o início. Estamos construindo uma estratégia de longo prazo, que inclui um planejamento plurianual de provimento de cargos, programas de formação e certificação contínua e trilhas de especialização em inspeção, análise de segurança e gestão de risco. Nossa meta é formar uma nova geração de reguladores nucleares à altura das responsabilidades trazidas pela esperada expansão do Programa Nuclear Brasileiro.

Qual a demanda de cargos?

Hoje temos cerca de 340 funcionários, mas há demandas que crescem dia a dia. Precisamos, no mínimo, duplicar nossas vagas de inspetores. Metade do nosso quadro já tem abono-permanência, ou seja, pode se aposentar a qualquer momento.

Isso compromete o planejamento?

Sem dúvida.

Está nos planos da ANSN a criação de um novo arcabouço regulatório, mais moderno, de acordo com as inovações tecnológicas, a exemplo dos novos reatores de pequeno porte (SMR)?

Sim. O Brasil precisa ter um arcabouço regulatório capaz de acompanhar as inovações tecnológicas do setor. A ANSN está revendo todo o seu acervo normativo, de forma a incorporar vários conceitos modernos tais como a abordagem graduada por risco e a cultura de segurança e, também, processos mais simplificados para as novas tecnologias, o que inclui o licenciamento de pequenos reatores modulares e de instalações avançadas. Nossa meta é adotar um modelo de regulação inteligente, robusto e flexível, sempre em sintonia com os padrões internacionais, principalmente da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

Poderia citar uma mudança que está ocorrendo em função dessas novas tecnologias?

Estamos por publicar, após consulta pública, a Norma 103, para aprovação de locais de operação de reatores nucleares, que já conta com requisitos para pequenos reatores modulares. E devemos publicar, em breve, uma norma sobre cibersegurança.

Como será a participação da Autoridade no desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro?

Em conversa com alguns especialistas nucleares, na qual eu estava presente, o diretor da área de Cooperação Técnica da AIEA, durante visita ao Brasil este ano, comentou ter sido um dos 30 primeiros funcionários da autoridade regulatória chinesa, 1984. Na época, a China tinha apenas um reator nuclear em operação; hoje são 50, com outros 25 em construção. Cito esse fato como exemplo dos efeitos benéficos proporcionados pela previsibilidade, a transparência e a segurança jurídica ao ambiente de negócios.

A ANSN é o alicerce técnico-regulatório do Programa Nuclear Brasileiro. Nossa função será garantir que o desenvolvimento de novas usinas, laboratórios e aplicações ocorra com segurança, transparência e, principalmente, responsabilidade, viabilizando novos investimentos. Pretendemos, ainda, ser o motor para as grandes discussões que são necessárias, a exemplo da revisão do arcabouço legislativo da área nuclear.

Qual sua posição em relação a essa questão?

Em primeiro lugar, como autoridade reguladora, não temos a atribuição de promover a energia nuclear. Uma vez que o estado brasileiro decida implementar uma nova tecnologia,

nosso papel é garantir que essa tecnologia só funcionará em condições de segurança. A Constituição Federal, especialmente no tocante à área nuclear, foi construída em uma época que as questões de soberania levaram ao estabelecimento do monopólio da União para a exploração de serviços e instalações nucleares de qualquer natureza. No atual ambiente de negócios nucleares, vemos a possibilidade de atuação de entes privados no mercado, tanto na operação de pequenos reatores como na produção de radiofármacos.

Quais são os principais desafios que se colocam para a Autoridade?

O primeiro é consolidar a estrutura institucional com quadro próprio e uma cultura organizacional voltada à excelência técnica e ao serviço público. O segundo é modernizar o nosso arcabouço normativo e tecnológico, fortalecendo principalmente a transparência, uma tônica que adotamos desde o início de nossas atividades. Um terceiro desafio é se comunicar melhor com a sociedade, mostrando que a energia nuclear, quando bem regulada, é segura, limpa e estratégica.

A comunicação terá um papel de destaque na estratégia da ANSN?

Terá um papel fundamental. Um dos pilares da ANSN é a comunicação com a sociedade, a construção de credibilidade. Esse é nosso desafio permanente: manter a independência técnica e a credibilidade da Autoridade diante desse setor cada vez mais dinâmico e complexo.

A sociedade ainda não conhece os benefícios da energia nuclear?

Infelizmente, devido à falta de informação. O desconhecimento é grande, a começar por nossos políticos. No período anterior à sabatina para nomeação da diretoria da ANSN, no Senado Federal, tivemos audiência com 63 senadores. Nas conversas, eles demonstraram surpresa quando discorremos sobre algumas aplicações da tecnologia nuclear, tais como o uso de fonte de radiação nas indústrias de bebida, cimento, plástico, óleo e gás e na pesquisa científica.

A ANSN vai estar mais acessível à população?

Estamos trabalhando estratégias de comunicação para ganhar visibilidade, o que inclui presença nas redes sociais, alimentar nossos canais oficiais com o maior número possível de notícias e informações, participar, se possível, de todos os fóruns. O setor nuclear precisa falar para a sociedade, estar presente em todos os ambientes, mostrar a nossa realidade que foi construída a duras penas. Eu vejo o Brasil muito bem posicionado e estamos à altura desse desafio, contando com o apoio do governo federal para que possamos nos consolidar.

A busca dos *data centers* por energia estável e sustentável

Vera Dantas

Grandes empresas de tecnologia apostam em mix de fontes, incluindo a nuclear, para suprir demanda por eletricidade limpa, confiável, constante e de alta densidade elétrica energética

A Tecnologia da Informação está, cada vez mais, incorporada às atividades humanas. Sua presença nos sistemas de comunicação, transportes, saúde, finanças, educação e prestação de serviços públicos e privados, entre outras áreas, demanda o uso intensivo de processamento. Se, no início da computação comercial, na década de 1950, a unidade de medida de dados digitais era o kilobyte (Kb), equivalente a 1.024 bytes, hoje, o consumo se mede em bilhões de bytes (gigabytes) e até mesmo em trilhões de bytes (terabytes), como exige, por exemplo, uma única operação de sequenciamento genético. “Muito em breve, à medida que aumenta a complexidade das operações, essa quantidade será medida em petabytes (um quatrilhão de bytes)”, projeta o especialista em infraestrutura de aplicações na internet Marcio Lacs, diretor da empresa AMT Cloud, vice-presidente da Associação de Provedores de Cloud Computing (AbraCloud) e presidente do conselho de administração do Instituto de Desenvolvimento e Gestão.

Para atender a esse enorme volume de processamento, os centros de dados – ou *data centers*, como são mais conhecidos – funcionam ininterruptamente, no regime 7 X 24, consumindo uma grande quantidade de energia. A partir da explosão da inteligência artificial generativa o gasto energético aumentou dramaticamente. Uma única consulta ao sistema ChatGPT consome quatro a cinco vezes mais energia que uma pesquisa padrão na web. O gasto

energético é ainda maior no treinamento de modelos de IA generativa, que envolve o aprendizado de bilhões de informações. “Enquanto um processamento tradicional é realizado por operações de cálculo sequencial de CPU, com um tempo de 500 milissegundos, o processamento de IA é realizado por chips de processamento gráfico (GPU), através de cálculo paralelo, em um tempo que pode chegar a menos de 1 milissegundo. Com o aumento da velocidade de processamento, aumenta a temperatura, exigindo mais refrigeração e energia. Além disso, GPUs utilizadas para IA possuem muitos mais núcleos paralelos, gerando muito mais calor que as placas normais”, explica o professor titular e chefe do Laboratório de Monitoração de Processos (LMP/PEN-Coppe) da Universidade do Rio de Janeiro (UFRJ) Roberto Schirru, que trabalha com IA há mais de 30 anos.

Um *data center* dedicado ao processamento de dados de usuários e à hospedagem de serviços em nuvem pode ter em torno de mil servidores (CPUs); já o número de GPUs de um *data center* voltado para o treinamento de modelos de IA pode chegar a centenas de milhares.

Um servidor voltado para o processamento científico como o computador de alta performance El Captain HPE Cray, EX255A AMD4, da HP, entre CPUs e GPUs tem mais de 11 milhões de *cores* (cada *core* é um processador). Lider do *ranking* dos top 500 maiores HPCs (high processor computer), o equipamento processa um milhão de petaflops (operações de ponto flutuante por segundo). “Nós estamos num caminho sem volta. Assim como aconteceu com o celular e o *smartphone*, a IA generativa é uma disrupção que pode provocar grandes mudanças em todas as atividades humanas”, prevê Schirru.



Hoje, o consumo se mede em bilhões e em trilhões de bytes (terabytes), como exige uma única operação de sequenciamento genético. Em breve, será medido em quatrilhões de bytes (petabytes)

Marcio Lacs

Diversos países estão buscando soluções para suportar a rápida expansão da IA generativa e da computação em nuvem. Os EUA, por exemplo, anunciaram investimentos de US\$ 500 bilhões em infraestrutura de AI, enquanto a Comunidade Europeia investirá € 200 bilhões, informa o Relatório Big Techs — Climate Performance and Policy Implications for the UK, elaborado pelo Minderoo Centre for Technology and Democracy da Universidade de Cambridge. O estudo projeta que o consumo energético global do setor tecnológico poderá aumentar 25 vezes até 2040, impulsionado principalmente pelo crescimento da IA generativa e pela expansão dos *data centers*.

O Relatório teve foco nas cinco maiores empresas globais de tecnologia: Google, Amazon, Apple, Meta e Microsoft. O estudo prevê que, mesmo em um cenário mais conservador, o consumo de energia das *big techs* poderia aumentar cinco vezes nos próximos 15 anos. Sem controle, há um grande risco desse crescimento provocar um forte impacto ambiental, devido ao grande aumento do consumo de energia para o processamento e de água, para a refrigeração das máquinas.

Leonam Guimarães, assessor da Amazul e ex-presidente da Eletronuclear, também projeta um cenário de crescimento acelerado, mas com um ritmo mais conservador. Ele se apoia em estimativas recentes da Agência Internacional de Energia e de grandes empresas a como British Petroleum, que indicam grande incerteza por região e perfil de carga. “A energia para *data centers* pode mais do que dobrar até 2030 (e multiplicar-se por quatro no segmento de IA), com forte peso em EUA e Europa, mas não há consenso de dobrar todo ano globalmente. Em paralelo, a IA também melhora eficiência sistêmica (operação de rede, despacho, manutenção). Em síntese, teremos um crescimento forte e estrutural, porém heterogêneo e limitado por infraestrutura, políticas e preços”, prevê.

Reatores modulares

Os *data centers* demandam energia constante, segura e de alta densidade. Para assegurar disponibilidade total, as grandes empresas de TI apostam na adoção de fontes de energia diversificadas, como as renováveis (eólica e solar), o gás natural e a nuclear. “A energia nuclear é, hoje, a única fonte de baixa emissão de carbono capaz de fornecer carga contínua e capaz de sustentar a demanda crescente dos *data centers*. Ela oferece estabilidade e previsibilidade – atributos essenciais para cargas contínuas, como é caso do uso de IA –, durante o uso dos sistemas de informática que não param e operam para o mundo tudo, cobrindo todos os fusos horários. Portanto, independente de onde esse *data center* esteja localizado, a carga de utilização estará sempre no máximo”, afirma Rodrigo Costa dos Santos, especialista em cibersegurança, com pós-doutorado e Ph.D em Engenharia da Computação pela Universidade de Coimbra

(Portugal) e certificações internacionais em Segurança da Informação no setor nuclear, e conselheiro da Associação Brasileira de Energia Nuclear (Aben).

“*Data centers*, redes neurais avançadas e a crescente infraestrutura digital consomem quantidades colossais de eletricidade, pressionando sistemas energéticos já fragilizados. Nesse contexto, o nuclear reaparece não apenas como tecnologia, mas como símbolo de um futuro possível: limpo, estável e capaz de sustentar a era da informação”, diz Marianna Wahrlich, no artigo Renascimento Nuclear na Era da Inteligência Artificial, publicado em setembro passado pelo Instituto Monitor da Democracia.

A tecnologia SMR (pequenos reatores modulares, na sigla em inglês) desponta como um dos trunfos da energia nuclear para garantir energia limpa, contínua e segura. Esses reatores são menores, mais flexíveis e rápidos de construir do que as usinas nucleares convencionais. Por serem modulares, os reatores SMR permitem a expansão de acordo com a necessidade do *data center*. Podem ser implantados próximos à instalação, mesmo em regiões remotas, reduzindo perdas de transmissão.

O professor Roberto Schirru destaca a ampla sinergia entre os *data centers* e os reatores modulares. “O *data center* precisa de energia e o SMR fornece energia a um custo relativamente barato. A energia que o *data center* consome varia entre 100 MW a 150 MW; um SMR produz de 100 MW a 300 MW. Um encaixa no outro”, explica.

Como usuário intensivo de *data center*, o empresário

Comparação de Usinas Nucleares, SMRs e Microrreatores

Tipo de Reator	Faixa de Potência	Aplicações Típicas
Usina Nuclear de Potência	1.000 - 1.600 MWe	Geração de energia em larga escala, rede elétrica nacional
SMR	10 - 300 MWe	Expansão modular, regiões remotas, indústrias, navios, submarino e datacenters
Microrreator	< 10 MWe	Uso militar, pesquisa, comunidades muito pequenas, aplicações específicas

Fonte: Roberto Schirru

Márcio Lacs vê nos SMRs o caminho natural para garantir um fornecimento energético seguro e econômico. Essa tecnologia possibilita a geração de energia *in loco*, dispensando o uso intensivo de linhas de transmissão e evitando a criação de uma grande infraestrutura para uma única operação. “O usuário conta com uma solução quase cirúrgica para atender sua demanda específica”.

Escala

Essa solução, no entanto, ainda não está disponível comercialmente. Rodrigo Costa dos Santos adverte que é preciso cautela, pois muitos projetos de geração de energia nuclear ainda se encontram em fase inicial e “dependem de avanços regulatórios e industriais para se tornarem viáveis comercialmente”. O professor Roberto Schirru diz que embora o conceito funcione e já existam projetos prontos, ainda não há escala industrial. “Estamos no meio do caminho. Existe a prova de conceito mas não existe indústria”.

Para Leonam Guimarães as situações de disponibilidade dos SMRs variam por país e tecnologia. Ele afirma já existir experiência operacional relevante com reatores avançados de menor porte e cita como exemplo o modelo HTR-PM (alta-temperatura, 2x250 Mwt), que entrou em operação comercial na China em 6 de dezembro de 2023. Mas ressalva que o equipamento não é um SMR leve “de prateleira” para múltiplos sítios.

Entre os SMRs de água leve em desenvolvimento, o ACP100 (Linglong-1, 100 MWe) na ilha de Hainan segue em construção; o banco de dados PRIS (IAEA) ainda não reporta primeira criticidade ou conexão à rede até 9 de novembro de 2025. No Ocidente, o BWRX-300 da GEH obteve, em 4 de abril de 2025, a licença de construção da CNSC para o projeto de Darlington (Ontário), permitindo obras nucleares; a meta pública é meados desta década para a primeira unidade no Canadá. “Em suma, a previsão é de 2028–2032 para as primeiras entradas em operação comercial em alguns países, com aceleração no início da década de 2030 conforme as cadeias industriais amadureçam”, resume.

No curto prazo, ele destaca o modelo BWRX-300 (GE Hitachi/OPG), que já possui licenciamento de construção no Canadá e uma carteira de países interessados, como o próprio Canadá, EUA, Polônia e Suécia, entre outros. E o modelo CP100, da empresa chinesa CNNC, com obras em estágio avançado em Hainan e forte apoio estatal. Cita também o SMR da Rolls-Royce, que está sendo construído no Reino Unido, com horizonte de lançamento para meados dos anos 2030.

Aumento de preços

Recentemente, foi divulgada notícia que o aumento exponencial de consumo de energia para sistemas de IA está pressionando o preço do kWh para o consumidor america-



Leonam Guimarães: crescimento forte, porém heterogêneo



Roberto Schirru: SMR ainda não tem escala industrial

no. Segundo Leonam Guimarães, pressões de preço aparecem quando a expansão de carga supera a expansão de oferta/transmissão, como acontece nos EUA. Ele acredita que essa tendência não deve necessariamente se repetir no Brasil. “O efeito vai depender do ritmo de expansão de geração firme (incluindo nuclear e hidrelétricas), renováveis e linhas de transmissão; do perfil contratual dos grandes consumidores (*data centers* tendem a firmar contratos de longo prazo ou autoprodução, mitigando repasse tarifário), e da sinalização regulatória para local/horário (resposta da demanda, tarifas horárias)”, explica. “Com planejamento adequado, a entrada de grandes consumidores pode ancorar investimentos e reduzir risco setorial, evitando impactos relevantes ao consumidor cativo”.

“A convergência entre a revolução digital e a necessidade de energia firme coloca a nuclear – especialmente os SMRs – no centro do debate global. Embora ainda haja desafios tecnológicos, regulatórios e financeiros, a combinação de investimentos privados, políticas públicas e avanço industrial cria um cenário inédito para a expansão dessa tecnologia. A questão não é mais se os *data centers* demandarão novas fontes firmes de energia, mas como os países se prepararão para oferecê-las com segurança, competitividade e sustentabilidade”, conclui Leonam Guimarães

Investimento das big techs

O governo dos Estados Unidos assinou, no final de outubro, um acordo de US\$ 80 bilhões com a Westinghouse para a construção de novos reatores nucleares. O país, cuja última usina nuclear foi construída em 2009, quer aumentar a geração de energia nuclear para suportar a expansão dos *data centers* e, principalmente, da inteligência artificial. Em maio, foi emitida ordem executiva pela presidência americana para ter dez novos grandes reatores em construção até 2030. Além do governo, as grandes companhias de tecnologia americanas como Google e Microsoft estão investindo diretamente na geração nuclear, seja em novos projetos seja na reativação de usinas fechadas.

Rodrigo Costa dos Santos vê essas ações como movimentos estratégicos e cruciais. “Microsoft, Google e Amazon reconheceram, recentemente, que a escassez de energia limpa e confiável é o principal gargalo de crescimento da IA. Ao investirem em compras de energia nuclear existente ou até no mercado futuro, como usinas que ainda estão no papel ou em fase de construção, essas empresas estão, na prática, assumindo o risco e o financiamento necessários para catalisar a próxima geração de energia nuclear e garantir a subsistência das suas próprias infraestruturas de tecnologia. É a corrida em busca da energia! Afinal, esse é um dos insumos principais dessas *big techs*”, afirma.

Em 2024, a Amazon comprou um campus de *data centers* de US\$ 650 milhões ao lado da usina nuclear Susquehanna, na Pensilvânia, garantindo o fornecimento de energia nuclear para a instalação. A empresa também está investindo no desenvolvimento de SMRs. Em parceria com a Energy Northwest e a desenvolvedora X-energy, a Amazon está financiando um projeto em Washington para construir até 12 reatores SMRs, com previsão de início das operações na década de 2030. A Amazon também se uniu à Korea Hydro and Nuclear Power (KHNP) e Doosan Enerbility para acelerar a implantação de novos reatores avançados nos Estados Unidos.

Em setembro de 2024, a Microsoft fechou um acordo de 20 anos com a Constellation Energy para reativar parte da usina nuclear de Three Mile Island, na Pensilvânia (EUA). A empresa contratou, em 2023, um gerente de programa sênior para desenvolver uma estratégia global de tecnologia nuclear, que inclui o uso de SMRs e micro reatores. A Microsoft tem parcerias com *startups* de tecnologia nuclear, incluindo a Helion, uma empresa que desenvolve a fusão nuclear, para o fornecimento de energia para seus *data centers*



Rodrigo Costa dos Santos: Microsoft, Google e Amazon reconhecem que escassez de energia limpa e confiável é o principal gargalo de crescimento da IA

a partir de 2028, uma meta tecnicamente incerta, segundo especialistas.

O Google anunciou uma parceria com a Tennessee Valley Authority (TVA), empresa pública responsável pelo fornecimento de eletricidade na região do Tennessee e a empresa Kairos Power para construir uma usina nuclear em Oak Ridge, que começará a fornecer energia por volta de 2030. O projeto da Kairos Power, chamado Hermes 2, adota um modelo de pequeno reator modular com capacidade de 50 MW, baseado no uso de sal fundido para refrigeração, em vez da água. Em outubro, a empresa anunciou acordo de 25 anos com a NextEra Energy Resources para a compra de energia da usina nuclear Douane Arnold, em Iowa (EUA). A usina estava desativada desde 2020 e deve voltar a operar em 2029.

A OpenAI também está envolvida em projetos de energia nuclear, através da Microsoft, que é uma grande investidora da criadora do ChatGPT. Ambas participam do projeto Stargate, focado no desenvolvimento de infraestrutura de ponta para IA e que prevê o uso de fontes diversas como gás natural, energia solar e energia nuclear. O co-fundador e CEO da OpenAI, Sam Altman, é um forte defensor da energia nuclear e investe em empresas do setor. Ele também expressou seu interesse na energia de fusão nuclear como solução de longo prazo.

A Meta, dona do Facebook, Instagram e WhatsApp, anunciou um processo de solicitação de propostas (RFP) para identificar desenvolvedores de energia nuclear capazes de fornecer 1-4 GW, começando no início da década de 2030.

O efeito tecnológico multiplicador gerado pelo desenvolvimento do Submarino Nuclear Convencionalmente Armado (SNCA) brasileiro: ciência, soberania e futuro

Alexandre Rabello de Faria

Introdução

A construção do primeiro submarino brasileiro com propulsão nuclear não é apenas um marco para a Defesa Nacional, é também um poderoso vetor de transformação tecnológica, científica e industrial, cujos efeitos se espalham por todo o tecido produtivo do País. O **Programa de Desenvolvimento de Submarinos (Prosub)** e o **Programa Nuclear da Marinha (PNM)** formam, em conjunto, a espinha dorsal de um processo que tende a fortalecer a posição do Brasil dentre as nações que dominam tecnologias críticas de ponta, como o ciclo do combustível nuclear, a propulsão nuclear-naval, a engenharia de precisão e a integração de sistemas complexos.

Nesse contexto, em sinergia com a Academia e a base industrial, os Programas fomentam a inovação, sobretudo no campo nuclear, gerando externalidades que transcendem o setor de defesa e contribuem para a evolução tecnológica da medicina, do agronegócio, na produção de água potável e como elemento estratégico para a transição energética sustentável do País.

Álvaro Alberto: marco de pioneirismo

A gênese dessa trajetória remonta à visão estratégica do **almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva**, que, ainda na década de 1950, defendeu que o Brasil deveria dominar o ciclo nuclear como instrumento de soberania e desenvolvimento.

Nos anos 1930 e 1940, como professor de Física e Química na Escola Naval, introduziu o estudo da física nuclear no Brasil, muito antes de o tema se tornar uma questão de Estado.



Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (Labgene)

Após a Segunda Guerra Mundial, Álvaro Alberto foi escolhido para ser o representante brasileiro na Comissão de Energia Atômica da ONU, em 1946. Lá, ele percebeu rapidamente que as grandes potências não tinham intenção de compartilhar o conhecimento que envolvia a tecnologia nuclear e que ela seria o novo pilar de influência e poder no contexto mundial.

Na ONU, Álvaro Alberto defendeu que o Brasil, por possuir vastas reservas de minerais radiativos (como tório e urânio), não deveria simplesmente vendê-los como matéria-prima barata, mas em troca, deveria exigir a transferência de tecnologia e conhecimento, o que ficou conhecido como a “Tese das Compensações Específicas”.

Convencido da importância da energia nuclear e de que o País precisava urgentemente de uma instituição para fomentar a pesquisa científica e tecnológica de ponta, cria o Conselho Nacional de Pesquisas (CNPq) em 1951, do qual foi o primeiro presidente. O CNPq, sob sua liderança, foi pioneiro em desenhar uma política nuclear para o Brasil.

A trajetória do Almirante Álvaro Alberto, mais do que a de um militar, foi a de um estadista visionário, que identificou a importância estratégica da energia nuclear e das reservas de urânio e deu os primeiros passos na criação da estrutura nacional necessária para que o Brasil pudesse, no futuro, desenvolver seu próprio programa nuclear.

O Programa Nuclear da Marinha

A partir de 1979, a semente plantada por Álvaro Alberto germinou com a criação do PNM, estruturado com base em dois eixos principais: o domínio do ciclo de produção do combustível nuclear e o desenvolvimento de uma planta de propulsão embarcada, ou seja, o sistema completo de geração e conversão de energia nuclear para propulsão naval.

Nesse contexto e seguindo o rumo traçado por Álvaro Alberto, o vice-Almirante Othon Luiz Pinheiro da Silva é uma figura central no desenvolvimento da tecnologia nuclear no País. À frente do PNM, sua atuação consolidou os alicerces que tornaram possível o enriquecimento de urânio por ultracentrifugação em solo brasileiro. Trata-se de um empreendimento de alta complexidade cujo domínio permanece, ainda hoje, restrito a um seleto grupo de nações.

Algumas décadas depois, em 2008, a assinatura do Acordo Estratégico Brasil-França deu origem ao Prosub, unindo ao PNM um audacioso processo de transferência de tecnologia, capacitação industrial e formação de mão de obra altamente especializada.

O Prosub e o PNM articulam duas estruturas industriais complementares: o Complexo Naval de Itaguaí (CNI), no Rio de Janeiro, e o Centro industrial Nuclear de Aramar (Cina), em Iperó, São Paulo. O primeiro concentra as atividades de construção e manutenção de submarinos, e o segundo, o desenvolvimento da tecnologia nuclear. Essa integração garante ao País uma infraestrutura robusta e única no Hemisfério Sul, capaz de projetar, construir e manter submarinos convencionais e, no futuro, os com propulsão nuclear.

O efeito tecnológico multiplicador gerado pelos Programas é vasto: envolve mais de 700 empresas nacionais e 23 universidades, distribuídas em setores de alta complexidade, como metalurgia, eletrônica, automação, química fina e engenharia de precisão, que passaram a dominar processos industriais antes inexistentes no Brasil. Estima-se que mais de 60 mil empregos diretos e indiretos estão sendo gerados, e cerca de R\$ 1 bilhão arrecadados em tributos, revelando forte impacto econômico e social. A nacionalização atingiu níveis superiores a 90% da infraestrutura industrial e equipamentos, fortalecendo a Base Industrial de Defesa (BID) e reduzindo a dependência externa.

O domínio do ciclo do combustível nuclear

A parceria da MB com o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen/Cnen), com a Universidade de São Paulo (USP) e com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), na década de 1970, possibilitou que o Brasil dominasse a tecnologia de enriquecimento de urânio por ultracentrifugação. Essa parceria permitiu que, no curto espaço de cerca de uma década, o Brasil ascendesse ao patamar do domínio laboratorial dessa técnica, um feito notável considerando a extrema complexidade e as restrições impostas,

em escala global, para a disseminação dessa tecnologia.

Essa conquista transcende o setor de Defesa: atualmente, as Indústrias Nucleares do Brasil (INB), na Usina de Enriquecimento Isotópico, em Resende-RJ, utiliza a ultracentrifugação em cascatas produzidas pela MB para gerar o combustível utilizado nas usinas nucleares de Angra. Da mesma forma, possibilita a produção do combustível para o SNCA e para o reator do Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (Labgene), o protótipo em terra da planta nuclear do submarino. O Labgene constitui o elo essencial no processo de maturação tecnológica que permitirá ao Brasil projetar, construir e operar seu primeiro submarino com propulsão nuclear, além de expandir o domínio dessa tecnologia para aplicações civis.

O caráter dual das tecnologias nucleares

O PNM, pela sua natureza dual, consolidou-se como vetor estratégico de inovação, ciência e tecnologia, com reflexos diretos no Programa Nuclear Brasileiro (PNB). O Programa promove a integração entre o meio acadêmico, a indústria e o Estado em torno de um propósito comum: fortalecer a soberania tecnológica e impulsionar o progresso científico do País.

O Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), projeto da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen), é um claro exemplo de projeto estruturante no setor, com potencial para ser um “divisor de águas”. O RMB será o maior centro de tecnologia nuclear da América Latina e está sendo construído ao lado do CINA, em terreno que foi cedido parcialmente pela MB, com mais de 2 milhões de metros quadrados. O RMB será voltado à produção de radioisótopos empregados no diagnóstico e tratamento oncológico, reduzindo a dependência externa e garantindo insumos para mais de dois milhões de procedimentos médicos anuais. Trata-se de um marco que une ciência e saúde pública.

Outro exemplo é a exitosa parceria da Marinha com o Ipen/Cnen para a produção do radioisótopo Lutécio-177, insumo estratégico para terapias avançadas contra o câncer. Esse material, antes importado a custos elevados, agora é fabricado no Brasil, assegurando economia de divisas e maior acesso da população a tratamentos de ponta. Estima-se que a dependência atual, com mais de US\$ 15 milhões anuais em importações de radioisótopos (revendidos por cerca de R\$ 120 milhões/ano), será mitigada com a entrada em operação do RMB, dobrando a oferta de radiofármacos e ainda gerando receita para o Tesouro.

Outra aplicação promissora é o uso de **irradiadores de alimentos**, capazes de aumentar a durabilidade e reduzir perdas pós-colheitas. O processo, que dispensa aditivos químicos, preserva as características nutricionais e sanitárias dos alimentos, tornando-os aptos à exportação para mercados exigentes. Amplamente usada em países desen-

volvidos, essa tecnologia alimentar tem potencial para elevar a competitividade do agronegócio brasileiro, especialmente na fruticultura e na exportação de grãos.

Além das aplicações já mencionadas, a tecnologia nuclear também possibilitará o uso da energia atômica para a dessalinização de água, contribuindo para a segurança hídrica, tema de relevância crescente em todo o mundo. O Projeto de Dessalinização Nuclear de Água (Dessal), desenvolvido em parceria entre a MB e a Cnen, prevê o aproveitamento parcial do calor gerado pela reação nuclear na geração de eletricidade para dessalinização. Essa água poderá abastecer um parque agroindustrial, permitindo irrigação e produção sustentável em regiões áridas.

O Labgene e os pequenos reatores modulares

Assistimos a uma transição energética sem precedentes. As mudanças climáticas impõem às nações o desafio de conciliar crescimento econômico, segurança energética e descarbonização, exigindo a busca por fontes limpas, firmes e tecnologicamente seguras. Nesse cenário, além das já tradicionais usinas nucleares, novas tecnologias, como os *Small Modular Reactors* (SMR), em português “Pequenos Reatores Modulares”, estão transformando o futuro da energia nuclear, tornando-a mais flexível e acessível. Com os avanços da inteligência artificial e da computação quântica, grandes empresas de tecnologia já investem em usinas nucleares próprias para abastecer seus *data centers*, demonstrando que essa fonte de energia é parte essencial da transição para um mundo mais sustentável.

Os SMRs são compactos, padronizados e fabricados em série, com capacidade de potência elétrica de até 300 MWe (megawatts elétricos) por unidade, permitindo implantação mais ágil e econômica que as usinas convencionais. Sua arquitetura modular possibilita a construção em ambientes industriais controlados, reduzindo atrasos, sobrecustos e garantindo altos padrões de qualidade. Operam de forma contínua, com fatores de capacidade superiores a 90%, sendo ideais para complementar fontes intermitentes, como solar e eólica. Dotados de sistemas de segurança passivos e tecnologias modernas de contenção, os SMRs incorporam lições de eventos como Fukushima e alcançam elevados níveis de confiabilidade. Com baixo impacto ambiental e sem emissão de CO₂ durante a operação, podem ser instalados em regiões urbanas, industriais ou isoladas, inclusive em versões móveis. Assim, os SMRs combinam a densidade energética e a previsibilidade da energia nuclear com a flexibilidade exigida pela economia de baixo carbono, consolidando-se como uma solução estratégica e sustentável para a matriz elétrica do futuro.

Dessa forma, o Labgene será um instrumento para que o Brasil alcance um grau seguro de maturidade na produção de energia nuclear, até mesmo para projetar e

construir os seus próprios SMRs. O laboratório permitirá testar e validar combustível, reator e sistemas de geração, assegurando eficiência, segurança e confiabilidade antes da implantação. Além disso, fomentará a inovação em processos e materiais, preparando o caminho para reatores de próxima geração e para o fornecimento de energia firme e estável, essencial para as novas demandas tecnológicas que se avizinham.

Energia nuclear: um círculo virtuoso de ciência e soberania

A integração de esforços materializada no Prosub e no PNM cria uma ampla sinergia virtuosa que transcende a mera soma de suas partes. O domínio do ciclo do combustível nuclear e a capacidade de operar submarinos de propulsão nuclear nos elevam a um novo patamar geopolítico no Concerto das Nações, posicionando-nos ao lado de um seleto grupo de potências e reafirmando, de forma irrefutável, a nossa soberania.

O efeito tecnológico multiplicador se manifesta para toda a sociedade na formação de milhares de engenheiros e técnicos altamente especializados, na modernização das cadeias produtivas, na criação de novas competências industriais e na consolidação de um ambiente nacional de inovação e pujante evolução. Esse capital humano qualificado, composto por milhares de profissionais em áreas como automação, metalurgia, controle e sistemas navais, emerge como um ativo estratégico para o País, apto a sustentar futuros projetos de grande porte e inovação.

Mais do que construir navios, estamos construindo o próprio futuro da Nação, pavimentando um caminho de prosperidade, segurança e reconhecimento global, fundado na ciência, no engenho e na inabalável autonomia tecnológica. Nesse rumo, o Brasil terá as ferramentas para elevar sua voz no cenário mundial.

O Prosub e o PNM não são apenas projetos da Marinha. São Programas de Estado, estruturantes e permanentes, que unem soberania, desenvolvimento e inovação. Seus efeitos ultrapassam o campo militar, promovem integração científica e industrial, estimulam a economia, geram conhecimento e reforçam o papel do Brasil como líder tecnológico no Hemisfério Sul. A concretização do Submarino Nuclear Convencionalmente Armado Álvaro Alberto representará a conquista do maior ativo de Defesa do País e do mais efetivo instrumento de dissuasão já disponibilizado ao Estado brasileiro em toda a sua história.

O amanhecer nuclear do Brasil: como a INB pode liderar a nova era da energia limpa

Tomás Albuquerque

Em um cenário global de crescente demanda energética e a imperativa transição para fontes limpas, a energia nuclear emerge não apenas como uma alternativa viável, mas como uma solução estratégica e indispensável. Para o Brasil, e em particular para a Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB), este momento representa uma confluência única de oportunidades para reafirmar sua soberania tecnológica e se posicionar como um player global de relevância. A INB, uma empresa pública com raízes na Companhia Brasileira de Tecnologia Nuclear (CBTN) de 1951, detém o monopólio constitucional do urânio no país e domina diversas etapas do ciclo do combustível nuclear. Este é um feito notável: entre mais de 190 nações da ONU, apenas dez possuem tal capacidade tecnológica, e o Brasil, por meio da INB, é uma delas. Atualmente, a empresa é a força motriz por trás do combustível que abastece as usinas de Angra 1 e Angra 2, garantindo a segurança energética de uma parte vital da matriz brasileira e a guardiã da Política Nuclear Brasileira.

O Brasil é abençoado com vastos recursos minerais, e o urânio não é exceção. O Mapa Estratégico 2025-2029 da INB, em sua visão de “Estar inserida no contexto internacional como fornecedora de energia limpa, segura e sustentável”, e sua missão de “Fornecer produtos e serviços associados ao ciclo do combustível nuclear, destinados à geração de energia limpa, segura e sustentável, com excelência na gestão empresarial, garantindo sustentabilidade e impulsionando a transição energética”, já aponta para a exploração desse potencial. Projetos como o da mina de Santa Quitéria e a prospecção de novos depósitos e avaliação de recursos e reservas minerais são cruciais. Conforme o World Nuclear Fuel Report: Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2025-2040 (WNFR), “recursos recuperáveis identificados são suficientes para atender até mesmo aos requisitos de urânio do Cenário Superior do Relatório de Combustível Nuclear ao longo do horizonte temporal deste relatório”. Isso significa que o Brasil possui reservas que podem não apenas suprir suas próprias necessidades, mas também atender a uma demanda internacional crescente.

A capacidade da INB de dominar o ciclo do combustível nuclear é um diferencial competitivo. O WNFR destaca a importância da conversão do concentrado de urânio (U3O8)



A INB se destaca como um *player* com potencial para se tornar um fornecedor de U3O8, ou até mesmo de UF6, no mercado internacional

em hexafluoreto de urânio (UF6) como um passo crucial antes do enriquecimento. A implantação da Usina de Conversão de Urânio e da Usina Comercial de Enriquecimento de Urânio, listadas como projetos prioritários no Mapa Estratégico da INB, são iniciativas que podem catapultar o Brasil para uma posição ainda mais proeminente. Atualmente, a empresa já produz o combustível para Angra 1 e 2. Com a mudança de acionistas na Eletronuclear, que sinaliza um novo fôlego para o programa nuclear brasileiro e a esperança renovada na construção de Angra 3, a demanda interna por combustível nuclear está prestes a se expandir significativamente. Este aumento da demanda doméstica, aliada à meta de produzir UF6 aqui no Brasil, solidifica a base para a INB olhar além das fronteiras.

O WNFR 2025-2040 é categórico: a demanda global por U3O8 e a frota de reatores nucleares estão em expansão. O relatório projeta que a capacidade de geração nuclear “deve quase dobrar no Cenário de Referência, de 372 GWe em 2024 para 746 GWe em 2040”. Essa expansão é impulsionada por políticas governamentais favoráveis à energia de baixo carbono e por preocupações crescentes com a segurança e independência energética, especialmente após eventos geopolíticos recentes. Ao mesmo tempo, o relatório aponta para uma “recuperação dos níveis de produção de urânio, com a produção global de mais de 60.000 tU em 2024 – um aumento de 22% em comparação com 2022”. No entanto, adverte que “à medida que as minas existentes enfrentam um esgotamento de recursos na próxima década, a necessidade de um novo suprimento primário de urânio se torna ainda mais urgente”, somada ao longo tempo necessário para uma nova mina entrar em operação, cria uma lacuna de oferta que o Brasil pode preencher.

Nesse contexto, a INB se destaca como um player com potencial para se tornar um fornecedor de U3O8, ou até mesmo de UF6, no mercado internacional. Os Estados Unidos, com a maior frota de reatores e o maior consumo de urânio do mundo, e a China, com a frota em maior crescimento, representam mercados estratégicos, além de outros países que detêm uma grande frota e, conseqüentemente, uma grande demanda por urânio, como a França. O WNFR detalha que “os requisitos de urânio da China são projetados em 19.499 tU em 2028, contra uma produção doméstica de apenas 1.697 tU. Isso resulta em um déficit de mais de 17.802 tU, posicionando a China entre os maiores importadores regionais de urânio”. Similarmente, a América do

Norte apresenta “requisitos excedendo sua capacidade de produção em quase 15%”.

A INB, ao buscar ampliar a capacidade de produção com enfoque na viabilidade de novos negócios e reduzir a dependência do cliente majoritário, conforme seu Mapa Estratégico, pode direcionar essa capacidade excedente para a exportação, diversificando suas fontes de receita e fortalecendo a balança comercial brasileira.

A crescente demanda global por energia, impulsionada pelo desenvolvimento industrial e pelo consumo moderno, exige fontes de energia firmes e confiáveis. A necessidade urgente de substituir matrizes fósseis, que contribuem para as mudanças climáticas, posiciona a energia termonuclear como a única alternativa real capaz de entregar energia em quantidades suficientes e de forma contínua. O WNFR reforça que “a energia nuclear atende a aproximadamente 10% da demanda mundial de eletricidade e respondeu por 22% da produção mundial de eletricidade de baixo carbono em 2024”. A INB, com sua visão de “impactar positivamente sociedade e meio ambiente, adotando altos padrões de governança”, alinha-se perfeitamente com essa narrativa global. Ao expandir sua produção e sua atuação internacional, a empresa não apenas garante a segurança energética do Brasil, mas também contribui para a descarbonização da economia mundial, promovendo um futuro mais limpo e sustentável.

Em conclusão, o momento atual é de ouro para a INB. Com um programa nuclear brasileiro que ganha novo impulso, um Mapa Estratégico ambicioso e um cenário global sedento por urânio e serviços do ciclo do combustível nuclear, a empresa tem todos os elementos para uma ascensão estratégica. Ao investir na prospecção de novas minas, na implantação de usinas de conversão e enriquecimento, e na nacionalização de componentes, a INB não só reduz a dependência tecnológica externa e de clientes majoritários, mas também se capacita para ser um fornecedor-chave no mercado internacional. A INB é mais do que uma empresa; é um ativo estratégico para o Brasil, um pilar da soberania nacional e um vetor para a transição energética global. O futuro da energia nuclear é promissor, e a INB está pronta para liderar o caminho, transformando o potencial brasileiro em uma realidade de energia limpa, segura e sustentável para o mundo.

Tomás Albuquerque é diretor de Recursos Minerais das Indústrias Nucleares do Brasil (INB)

Medicina Nuclear: o cenário atual brasileiro

Flávia Paiva Lopes

A Medicina Nuclear é uma especialidade médica que utiliza substâncias radioativas para realizar exames diagnósticos e tratamentos. Essas substâncias radioativas podem ser radiofármacos ou o próprio isótopo radioativo.

O radiofármaco é originado pela combinação de um isótopo radioativo com uma molécula específica. Esta pode ser um peptídeo, anticorpo ou mesmo uma célula, e é escolhida por sua afinidade em se ligar a um alvo específico, seja em um tecido, seja em um tipo celular particular, como células tumorais ou áreas de inflamação. Diferentemente de métodos de imagem puramente anatômicos, como a radiografia e a tomografia computadorizada (TC), a Medicina Nuclear é uma ferramenta de imagem molecular capaz de detectar alterações funcionais e metabólicas a nível celular e tecidual muito antes que mudanças estruturais se tornem evidentes.

Nos últimos anos a especialidade vem passando por importantes avanços, tanto no que tange às novas tecnologias, que aprimoraram ainda mais os aparelhos de imagem, como o advento de novos radiofármacos e terapias oncológicas.

A Evolução para a Teranóstico e o Impacto Clínico

A Medicina Nuclear se estabelece como uma especialidade de alto custo-efetividade ao otimizar o manejo clínico e reduzir a necessidade de procedimentos invasivos ou exames complementares desnecessários em diversas doenças. Sua precisão diagnóstica permite que o plano de tratamento seja direcionado desde o início, evitando ciclos longos e dispendiosos de investigação.

A evidência de custo-benefício é clara em diversas áreas, como na localização de infecções e inflamações de difícil diagnóstico, no estadiamento e no diagnóstico de alguns tumores, no campo da Cardiologia e na Neurologia, além de outras indicações consagradas na literatura.

A Medicina Nuclear experimenta uma verdadeira revolução com a consolidação do Teranóstico, um paradigma que alinha o diagnóstico ao tratamento. O termo Teranóstico é derivado da combinação de diagnóstico e terapia, e o seu princípio é simples e elegante: usar a mesma via molecular para, primeiro, diagnosticar a doença (usando uma molécula radiomarcada com isótopo específico para imagem) e, em seguida, tratar o alvo celular (usando um radioisótopo

diferente, mas que se liga à mesma molécula, para emitir radiação terapêutica).

Ao possibilitar o diagnóstico mais preciso e precoce, a Medicina Nuclear garante que os pacientes sejam submetidos apenas aos tratamentos que oferecem benefícios significativos, excluindo terapias de alto custo e toxicidade com pouca eficácia, o que é um pilar da medicina de precisão e um reflexo do Teranóstico: só se trata o que se vê nos exames de imagem. Além disso, o tratamento direcionado com radiofármacos, como no Teranóstico, ao reduzir os efeitos colaterais e manter o paciente em melhores condições clínicas, contribui para que ele permaneça produtivo para a sociedade e desfrute de uma melhor qualidade de vida.

Um dos exemplos mais notáveis dessa aplicação é no tratamento do câncer de próstata metastático. Os tumores de próstata e suas metástases podem ter em sua superfície um antígeno conhecido como Antígeno de Membrana Específico da Próstata (PSMA). Os tumores que expressam o PSMA podem ser identificados por meio do exame PET/CT com 18F-PSMA ou 68Ga-PSMA. Uma vez confirmado o diagnóstico, o paciente pode ser submetido à terapia com 177Lu-PSMA, na qual o 177Lu (Lutécio-177) é o isótopo terapêutico acoplado à molécula PSMA. Esse tratamento direcionado permite a irradiação do tumor com alta precisão, minimizando o dano aos tecidos saudáveis vizinhos. Vários estudos têm demonstrado o potencial da Medicina Nuclear em oferecer sobrevida e qualidade de vida para esses pacientes tratados.

Desafios e barreiras de acesso

Apesar dos notáveis avanços tecnológicos e da comprovada eficácia clínica e econômica, a implantação e a expansão da Medicina Nuclear no Brasil enfrentam desafios estruturais profundos, que resultam em uma disparidade significativa de acesso em comparação com outros países.

A análise comparativa do número de procedimentos por 100 mil habitantes revela um quadro preocupante: o Brasil realiza apenas cerca de 943 procedimentos anuais por 100 mil habitantes, um número dramaticamente inferior ao da Argentina (3.913), do Chile (3.750) e dos Estados Unidos (3.880). Estima-se que, para atender plenamente a demanda da população brasileira, o volume ideal de pro-

cedimentos deveria ser de 6 milhões por ano, em contraste com os 2 milhões atualmente realizados. O crescimento da especialidade no país tem sido lento, com um aumento de apenas 6% em 20 anos, enquanto a população mais idosa – aquela que mais demanda serviços de Medicina Nuclear – tem crescido em ritmo muito superior.

A Medicina Nuclear brasileira é uma especialidade intrinsecamente ligada à dinâmica econômica global, descrita como uma das áreas médicas mais dolarizadas do país. Praticamente todos os insumos, equipamentos e, em grande parte, os radiofármacos são importados, o que torna o setor extremamente vulnerável às variações cambiais e a gargalos logísticos. O Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (Ipen/Cnen) desempenha um papel estratégico, sendo responsável por fornecer produtos para cerca de 85% dos procedimentos de Medicina Nuclear realizados no Brasil. Contudo, a produção nacional ainda não é suficiente para garantir a autossuficiência. Essa dependência leva a crises recorrentes de desabastecimento de radiofármacos, que resultam no cancelamento de exames e terapias essenciais em hospitais e clínicas.

Desafios regulatórios e econômicos

O quadro regulatório brasileiro, muitas vezes desalinhado com a realidade e as necessidades do setor, tem sido um fator limitante para a abertura do mercado e a expansão do acesso. Normas complexas e a alta carga tributária sobre a importação de radiofármacos e equipamentos dificultam a logística e o custo final dos procedimentos.

No que tange ao acesso público, a situação do Sistema Único de Saúde (SUS) é crítica. Estima-se que 92% dos atendimentos de Medicina Nuclear via SUS sejam realizados em clínicas privadas por meio de credenciamento. A tabela de remuneração do SUS para esses procedimentos está em grande parte defasada ou mesmo sem qualquer reajuste desde 2009, o que inviabiliza economicamente a prestação de serviços de alta complexidade e desestimula o investimento em novos equipamentos e na manutenção da infraestrutura, perpetuando a disparidade entre o acesso público e o privado.

Perspectivas e estratégias para a consolidação

A superação dos desafios atuais exige um esforço conjunto e ações estratégicas claras por parte da comunidade médica, órgãos reguladores e do governo. O futuro da Medicina Nuclear no Brasil está intrinsecamente ligado à conquista da autonomia na produção de radioisótopos e à modernização do ambiente regulatório.

A principal iniciativa para a sustentabilidade do setor é o desenvolvimento e a conclusão do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB). Esse projeto é fundamental para que o país atinja a autossuficiência na produção de radioisótopos,

o que estabilizará o fornecimento de insumos para os exames e terapias de Medicina Nuclear ao reduzir a vulnerabilidade à logística internacional e às flutuações de mercado. Além do RMB, é crucial o apoio a outros empreendimentos, como o complexo de Angra 2, que podem conferir maior sustentabilidade e autonomia energética e científica ao setor.

A Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear e Imagem Molecular (SBMN) e a comunidade científica têm pleiteado uma agenda de mudanças para mitigar as barreiras de acesso. Sobre a adequação regulatória, é imperativo trabalhar junto a órgãos governamentais e agências reguladoras para adequar as normas ao ambiente brasileiro, facilitando a incorporação de novas tecnologias e radiofármacos.

O fortalecimento do Ipen/Cnen é uma necessidade. O investimento contínuo no Instituto é vital para a pesquisa, o desenvolvimento e a produção nacional de radiofármacos.

Medidas como a redução dos impostos de importação sobre radiofármacos e a ampliação do transporte aéreo de insumos radioativos no território nacional são essenciais para otimizar a distribuição e o acesso, dada a curta meia-vida de muitos radioisótopos.

Por fim, é preponderante que toda população tenha acesso às tecnologias existentes na Medicina Nuclear e, portanto, tanto exames quanto terapias devem estar acessíveis no SUS. Nesse âmbito, a atualização urgente da tabela SUS é um passo inadiável para garantir que as clínicas credenciadas possam absorver a crescente demanda e investir na modernização tecnológica, essencial para o princípio de equidade do sistema de saúde brasileiro.

Conclusão

A Medicina Nuclear brasileira encontra-se em um paradoxo: possui um potencial clínico revolucionário, alinhado à medicina de precisão e ao conceito de Teranóstico, mas opera com um nível de acesso e infraestrutura que o coloca em grande desvantagem internacional. Para consolidar a Medicina Nuclear como um pilar da saúde pública e privada no Brasil, é necessário converter os desafios atuais em catalisadores para a mudança. A conclusão bem-sucedida do RMB, o fortalecimento das instituições de pesquisa e o engajamento do poder público na adequação regulatória e na atualização da remuneração do SUS são passos estratégicos. Ao fazê-lo, o Brasil poderá não apenas triplicar o número de procedimentos anuais necessários, mas também assegurar que a imagem molecular e o Teranóstico se tornem ferramentas acessíveis a toda a população, promovendo a qualidade de vida e o acesso às novas tecnologias em prol da saúde do paciente.

Brasil vence Global Hackatom na World Atomic Week

Estudantes brasileiros alcançaram um marco histórico ao vencer, pela primeira vez, o Global Hackatom 2025. Trata-se de uma maratona de 24 horas que desafia participantes a desenvolver soluções para a exploração espacial com base na nova geração de tecnologias nucleares. A disputa integra a World Atomic Week, um dos maiores eventos mundiais dedicados à indústria nuclear. O encontro ocorreu na última semana de setembro, em Moscou.

Liderada por Larissa Oliveira de Sá, mestranda em Engenharia Nuclear, a equipe TupiTech contou com os pesquisadores Diógenes Kreusch Filho, Marcela Rabelo de Lima, Leonardo Zortea e Adriel Faddul Stelzenberger, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). O nome TupiTech reflete a intenção de transportar a herança cultural brasileira ao universo tecnológico.

A disputa internacional impôs uma camada adicional de dificuldade. “Foi completamente diferente da etapa no Brasil. Estávamos em um país com idioma e fuso horário diferentes. Apesar da organização da empresa Rosatom nos dar três dias de ambientação, o cansaço foi grande”, relata a líder Larissa. Para Leonardo Zortea, o diferencial esteve “na abordagem completa e ancorada na ciência. Para cada dificuldade potencial na implementação de um reator no espaço, priorizamos alternativas sustentadas por tecnologias já existentes, tornando a proposta mais viável e robusta”.

Adriel Stelzenberger destaca o potencial multiplicador do feito: “Acreditamos que tanto a ideia quanto a vitória podem servir como ponte para aproximar lideranças nacionais e internacionais dos setores nuclear e espacial, mostrando que o Brasil forma profissionais altamente capacitados”. Diógenes Kreusch aponta seu principal aprendizado: “O reconhecimento das diferentes competências técnicas apresentadas pelos diversos países. As soluções propostas para



o desafio evidenciaram ideias originais e distintas, refletindo a criatividade e o sólido *background* técnico-acadêmico dos participantes”.

O resultado projeta o país no mapa da fronteira tecnológica que combina energia nuclear e exploração espacial, ampliando oportunidades de cooperação e visibilidade científica em um campo dominado por potências estrangeiras.

Centena

A coordenadora técnica do Projeto Centena (Centro Tecnológico Nuclear e Ambiental), Clédola Cássia Oliveira de Tello, participou como convidada da World Atomic Week. Em painel que abordou as opções relativas ao fechamento do ciclo da utilização da energia nuclear em diferentes países, a diretora regional da Aben em Belo Horizonte apresentou a política brasileira sobre o gerenciamento de resíduos nucleares e o trabalho que vem sendo desenvolvido pelo Centena para o armazenamento definitivo dos rejeitos de baixo e médio nível gerados no Brasil. O painel contou com a participação de representantes da Rússia, Bielorrússia, Paquistão e China.

Inac será realizada em agosto de 2026, no Rio

A edição 2026 da International Nuclear Atlantic Conference (Inac) será realizada de 25 a 28 de agosto, na Escola de Guerra Naval (EGN), no Rio de Janeiro. Maior evento do setor nuclear da América Latina, a Inac 2026 terá como tema central “Átomos para um Futuro Verde”.

A Conferência é promovida bianualmente pela Aben e reúne pesquisadores, professores, estudantes, profis-

sionais e representantes da indústria nuclear nacional e internacional, além de autoridades e organismos nacionais e internacionais relacionados à energia e sustentabilidade. Na última edição, em 2024, a Inac reuniu cerca de 1 mil participantes ao longo de cinco dias de evento, promovendo palestras, workshops, sessões técnicas, exposições e encontros institucionais que geraram oportunidades de negócios e cooperação científica.



FORTALEÇA O SETOR. VALORIZE A CIÊNCIA. CONSTRUA O FUTURO.

A Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN) convida profissionais, pesquisadores, estudantes e empresas a se tornarem parte da principal rede de articulação, conhecimento e representatividade do setor nuclear no país.

Participe de debates estratégicos, tenha acesso a eventos exclusivos, compilações técnicas, oportunidades de networking e contribua diretamente para o desenvolvimento científico, tecnológico e sustentável da área nuclear brasileira.





ENERGIA NUCLEAR:

ÁTOMOS PARA UM FUTURO VERDE

De 25 a 28 de agosto de 2026, a Escola de Guerra Naval (EGN), na Urca – RJ, recebe o principal encontro do setor nuclear no país.

O **INAC 2026** reunirá especialistas, pesquisadores e lideranças para discutir inovação, sustentabilidade e o papel da energia nuclear no futuro verde do Brasil.