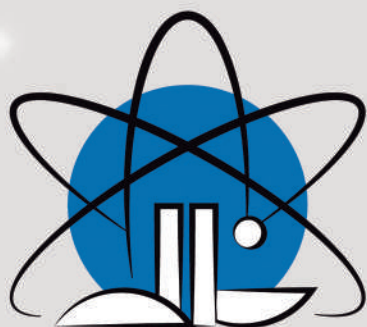


PROPOSTA PARA O

NOVO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO



FPN

Frente Parlamentar
Mista da Tecnologia e
Atividades Nucleares

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos ao presidente da Casa, o deputado Arthur Lira, e a toda a Mesa Diretora.

Quero também estender os meus agradecimentos aos ilustres deputados e senadores que foram signatários da Frente Parlamentar Mista de Tecnologia e Atividades Nucleares. Agradeço também aos vice-presidentes da frente, os deputados Aureo Ribeiro, Luiz Fernando Faria, Lindbergh Farias e Veneziano Vital do Rêgo, cuja participação tem sido fundamental para o sucesso do nosso trabalho.

Por último, não poderia deixar de mencionar o presidente da Comissão de Minas e Energia, o deputado Rodrigo de Castro.

Deputado Julio Lopes

Presidente da Frente Parlamentar Mista de Tecnologia e Atividades Nucleares



BRASÍLIA
2023

SUMÁRIO

Lista de Figuras	
Lista Gráficos	
Lista de Tabelas	
Lista de Abreviações	
1. Introdução.....	1
2. Análise do Cenário Internacional.....	5
2.1 Segurança Energética.....	6
2.2 Descarbonização e Transição Energética.....	8
3. Energia Nuclear no Brasil.....	11
3.1 Matriz Energética Brasileira.....	18
3.2 Angra III.....	22
3.3 Plano Nuclear da Marinha.....	23
3.3.1 Centro Industrial Nuclear de Aramar (CINA).....	25
3.4 Aplicações na Medicina.....	28
4. Urânio.....	31
4.1 Mercado Internacional de Urânio	31
4.1.1 A securitização como um modelo de negócios no mercado de extração de urânio.....	33
4.1.2 Santa Quitéria e a parceria da INB com a Galvani, algumas considerações.....	41
4.1.3 Proposta de contrato de securitização.....	42
4.2 Mineração e Enriquecimento no Brasil.....	43
4.3 Análise de Benchmarking do Urânio.....	45
4.4 Apontamentos para a INB.....	59
5. Regulamentação e Licenciamento.....	62
5.1 Regulação.....	62
5.2 Licenciamento.....	63
5.3 Agência Reguladora.....	64
5.4 Aprimoramento do Marco Regulatório: Lei nº 14.514/22 e suas Aplicações.....	64
6. Apontamentos.....	68
Referências.....	76

7. Anexo - Urânio – Aspectos Gerais.....80



LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Situação da energia nuclear em 2022.....	6
Figura 2: Mapa das áreas para onde há reservas de urânio no Brasil.....	12
Figura 3: Ciclo do Combustível no Brasil.....	26
Figura 4: Subsidiárias e escritórios ao redor do mundo da Kazatomprom.....	48



LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Participação da Energia Nuclear na produção de energia elétrica.....	10
Gráfico 2: Componentes da Matriz Energética Brasileira em 2023.....	20
Gráfico 3: Fontes de recursos simulados para a conclusão de Angra III.....	22
Gráfico 4: O Preço do Urânio por ano desde 2010.....	31
Gráfico 5: Previsão do preço internacional de urânio.....	34
Gráfico 6: Capacidade instalada de geração elétrica nuclear no Brasil.....	35
Gráfico 7: Reserva energética brasileira.....	36
Gráfico 8: Reservas brasileiras de urânio. Fonte: Empresa de Pesquisa Energética.....	37
Gráfico 9: Variação do preço do Urânio 2000-2022.....	39
Gráfico 10: Variação do preço do urânio durante 2023.....	40
Gráfico 11: Resultados financeiros da Kazatomprom (2021-2022).....	47



LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados sobre produção de urânio no Brasil.....	14
Tabela 2: Valores aproximados do potencial energético brasileiro caso haja securitização.....	40
Tabela 3: Principais mineradoras de urânio no mundo.....	45
Tabela 4: Países com atuação mineradora da Cameco.....	49
Tabela 5: Percentual de participações em minerações da Cameco.....	50
Tabela 6: Bolsas de estudo da Cameco.....	52
Tabela 7: Serviços prestados pela ORANO ao redor do mundo.....	54
Tabela 8: Projetos Orano.....	56
Tabela 9: Produção de urânio no Cazaquistão.....	58



LISTA DE ABREVIações

ABDAN: Associação Brasileira para o Desenvolvimento de Atividades Nucleares

ABEN: Associação Brasileira de Energia Nuclear

AIEA: Agência Internacional de Energia Atômica

ANSN: Autoridade Nacional de Energia Nuclear

ANM: Agência Nacional de Mineração

CDTN: Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

CDPNB: Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro

CNEN: Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNPq: Conselho Nacional de Pesquisa

ELETRONUCLEAR: Eletrobrás Termonuclear S.A

ENBPar: A Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional

EPE: Empresa de Pesquisa Energética

FINEP: Financiadora de Estudos e Projetos

FNDCT: Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

IBAMA: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IEN: Instituto de Engenharia Nuclear

INB: Indústrias Nucleares do Brasil S.A.

IPCA: Índice de preços no consumidor Amplo

IPCC: Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPEN: Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares

IRD: Instituto de Rádio Proteção e Dosimetria

LABGENE: Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica

LOA: Lei Orçamentária Anual

MCTI: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação

MME: Ministério de Minas e Energia

NUCLEBRAS: Empresas Nucleares Brasileiras Sociedade Anônima

NUCLEP: Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A.

OECD: Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

ONS: Operador Nacional do Sistema Elétrico

PAC: Programa de Aceleração do Crescimento

PNB: Política Nuclear Brasileira



PWR: *Pressurized Water Reactor* (Reator de água pressurizada)

PRH: Programa de Formação de Recursos Humanos

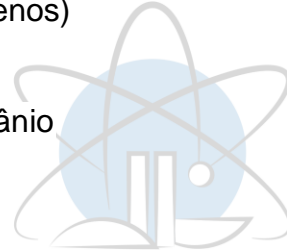
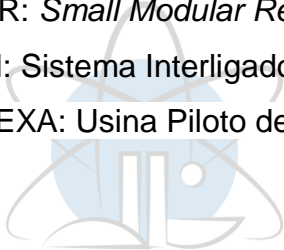
PROSUB: Programa de Desenvolvimento de Submarinos

RMB: Reator Multipropósito Brasileiro

SMR: *Small Modular Reactor* (Reatores Modulares Pequenos)

SNI: Sistema Interligado Nacional

USEXA: Usina Piloto de Produção de Hexafluoreto de Urânio



1. Introdução

Ao apresentar um projeto indicativo para um novo Programa Nuclear no Brasil, nosso objetivo é recontextualizar o Programa Nuclear Brasileiro, que foi inaugurado a partir de 1953, que em diversas ocasiões foi interrompido e agora necessita de uma atualização para se alinhar ao cenário mundial do século XXI. Levamos em consideração as transformações na indústria nuclear, as novas tecnologias que oferecem oportunidades inéditas e os avanços no campo nuclear. Este esforço de contextualização do Programa Nuclear Brasileiro considera as demandas globais, observando o aumento significativo dos investimentos em energia nuclear por parte de várias nações.

Nossos parâmetros fundamentais são as novas tecnologias que proporcionam maior segurança, prazos de construção reduzidos e modularidade, como os reatores Modulares Pequenos (SMR, na sigla em inglês). Estamos deixando para trás o paradigma anterior em que instalações nucleares eram projetadas de forma específica para uma função determinada, ou seja, eram construídas sob medida para um local e finalidade específicos. Agora, estamos migrando para uma abordagem mais modular, onde as instalações são construídas em ambientes industriais, com prazos e programações mais previsíveis e execução menos complexa, o que também demanda um orçamento menor. Esse novo contexto tecnológico oferece ao Brasil novas possibilidades às quais precisamos nos adaptar.

Trata-se de uma iniciativa abrangente e estratégica, com o intuito de defender os interesses nacionais e promover a expansão dos atores inseridos nas cadeias produtivas nucleares. Isso se dará por meio de um conjunto de ações que envolve o aprimoramento da legislação e do marco regulatório, permitindo o desenvolvimento de um setor de tamanha capilaridade, como é o setor nuclear.

Neste estudo, ressaltamos a existência de uma ampla gama de aplicações da energia nuclear e os diversos setores que são impactados pelo desenvolvimento desta tecnologia. Consideramos ser impossível pensar o setor nuclear de forma monolítica dada a sua natureza multidimensional, com capacidade de aplicação em diversos âmbitos. Atualmente, observa-se um crescimento global na utilização da energia nuclear para geração de eletricidade, com a retomada da construção de reatores ao redor do mundo. O *The Power Reactor Information System (PRIS)*,

desenvolvido pela *International Atomic Energy Agency*, aponta que atualmente estão em construção cerca de 69 novos reatores (IAEA, 2023)¹. Além disso, a tecnologia nuclear é essencial para a medicina, com o desenvolvimento de radiofármacos e radioisótopos. Tem também aplicação também na agricultura com a irradiação de alimentos e na construção de submarinos de propulsão nuclear. Reiteramos, portanto, que as possibilidades de aplicação da tecnologia nuclear são inesgotáveis.

Nos encontramos em um momento no qual, enquanto sociedade, é necessário realizarmos movimentos de mudança que sejam sólidos em prol do nosso planeta. A energia nuclear aparece então com uma opção viável e estável para o processo de transição energética adotada em vários países do mundo com o objetivo de reduzir as emissões de CO². A pauta da descarbonização representa uma questão fundamental na agenda internacional e o Brasil, enquanto país com uma matriz energética variada e majoritariamente limpa, é um exemplo nesse enfrentamento. O papel que podemos performar ao oferecer combustível para países que utilizam energia nuclear nos tornaria um notável ator nessa busca coletiva pela redução de emissão de gás carbônico. O empenho por uma economia global que, através da transição energética, alcance a sustentabilidade climática pode ser contemplada a partir dessa recente re-adesão ao nuclear com a construção de novos reatores em vários países.

Dentro deste contexto, o projeto se destaca pelo seu direcionamento em função do fortalecimento do setor nuclear, promovendo um ambiente propício à inovação, ao investimento e à expansão das nossas capacidades tecnológicas. Isso inclui a criação de condições favoráveis para a atuação das empresas nacionais, o estímulo à pesquisa e desenvolvimento, além da promoção de parcerias estratégicas com entidades públicas e privadas.

Outro pilar fundamental deste projeto é a busca pelo aprimoramento da legislação nacional relacionada ao setor nuclear, desde a mineração de urânio, matéria prima da atividade nuclear, até a produção de energia. Para tanto, procuramos estabelecer um diálogo contínuo e colaborativo com as duas Casas do Congresso Nacional, buscando influenciar, de forma positiva, o processo legislativo,

¹ Relatório da IAEA: Nuclear Power Reactors in the World, nº2, 2023. Disponível em: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-43_web.pdf

para que seja possível garantir a construção de um arcabouço normativo sólido e atualizado.

Almejamos, através dos apontamentos apresentados neste projeto, fortalecer a posição do Brasil no debate sobre o setor nuclear a nível internacional, através do intercâmbio ativo com instituições similares e representantes de outros países. Essa colaboração visa não somente a troca de conhecimentos e experiências, mas também o aperfeiçoamento mútuo das políticas que concernem as atividades nucleares. Mediante o estudo comparativo com as políticas adotadas por países com proeminência no setor nuclear, é possível incorporar elementos de suas atividades à nossa realidade, construindo projetos a partir da perspectiva e necessidade do nosso país. Temos sempre em mente o significado desse objeto para a segurança nacional, todavia, em acordo com a postura adotada pelo Brasil historicamente, consideramos ser possível contribuir para a construção de um ambiente global mais seguro e sustentável.

Concebemos que para estimular tanto a mineração de urânio, quanto o processamento do ciclo do combustível, é oportuno sugerir a atuação, em forma do estabelecimento de cooperações, ao lado do setor privado. Esta abertura poderia resultar em um influxo de divisas significativo, através da securitização deste mineral. Adicionalmente, essa medida teria o potencial de impulsionar a produção de insumos fundamentais para outras indústrias, visto que o urânio frequentemente é encontrado em associação com outros minerais.

Acreditamos que os apontamentos aqui propostos não apenas sinalizam a premência de nos empenharmos em função da inovação e do desenvolvimento da área nuclear, reiterando também a posição do Brasil como um ator proeminente e responsável no contexto internacional. Caso concretizem-se essas iniciativas, estaremos não apenas investindo em nosso futuro, mas também contribuindo para um mundo tecnologicamente avançado e sustentável.

Dada a variedade de dados disponibilizados pelas distintas organizações e órgãos relacionados ao setor nuclear no Brasil e no mundo, foi observada uma grande incompatibilidade dos mesmos. É de extrema urgência que se construa uma base de dados comum, onde haja congruência de números, tanto nacional quanto internacional, para que os estudos realizados possam ser baseados em fontes seguras, e assim ter mais celeridade. Posto isso, este projeto foi elaborado com base

em relatório das seguintes entidade: World Nuclear Association; Nuclear Energy Agency; Organisation for Economic Co-operation and Development; International Energy Agency; International Atomic Energy Agency; Governo Brasileiro - Ministério de Minas e Energia; European Commission; Serviço Geológico do Brasil, entre outros.



2. Análise do Cenário Internacional

A importância da energia nuclear está sendo pautada internacionalmente por dois fatores preponderantes: a necessidade de energias renováveis em função da demanda por descarbonização frente às mudanças climáticas; o movimento de busca pela garantia de segurança energética tendo em consideração o que chamamos de “weaponizing energy” (Boute, 2022). O desenvolvimento do setor nuclear aparece então como uma ferramenta fundamental para lidar com estas 2 questões: descarbonização e segurança energética.

Ambas as pautas vêm sendo politizadas ao longo dos anos, em especial no que se relaciona ao setor nuclear. O contexto mundial no qual a energia nuclear está inserida foi fortemente influenciado por uma série de acidentes que impactaram a forma como tanto a sociedade civil, quanto o poder público, enxergam o setor. Os acidentes de Three Mile Island (EUA), em 1979, Chernobyl (URSS - atual Ucrânia), em 1986, e o de Fukushima (Japão), em 2011, foram eventos paradigmáticos para um processo de retração do setor mundialmente. O recente conflito Rússia x Ucrânia (2022-atual) e os dados preocupantes do IPCC² sobre mudanças climáticas, fez reacender o debate sobre o uso da energia nuclear de forma positiva.

Nesse caso, estamos vendo um movimento que há muito já debatia sobre a proliferação do uso de energia nuclear tendo em consideração objetivos climáticos. Agora observamos que, devido a escassez energética de alguns países, o seu emprego volta à cena, uma vez que é necessário o desenvolvimento e uso de uma fonte energética que seja segura, tenha baixa emissão de CO² e tenha um perfil de constância (uma fonte de energia firme).

Segundo a análise realizada anualmente pela *International Atomic Energy Agency* (2022), o atual cenário global da energia nuclear pode ser observado na seguinte imagem:

² O relatório está disponível em: https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/downloads/report/IPCC_AR6_SYR_SPM.pdf

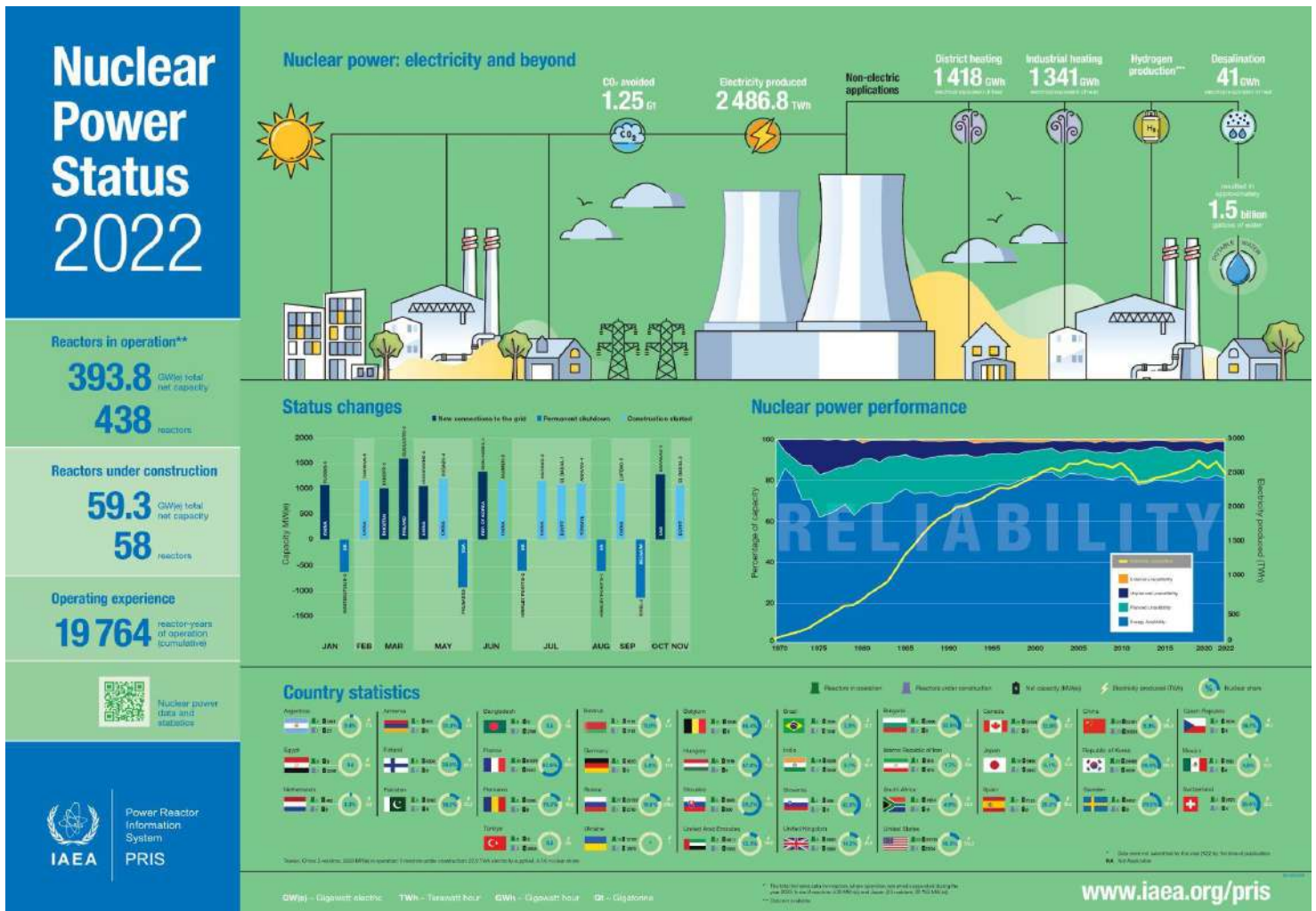


Figura 1: Situação da energia nuclear em 2022

Fonte: The Power Reactor Information System (PRIS) - International Atomic Energy Agency (2022).

2.1 Segurança Energética

A importância geopolítica de uma infra-estrutura avançada para os sistemas de produção energética demonstra a sensibilidade do tema da dependência da matriz energética para muitos países. O atual cenário internacional desvelou a vulnerabilidade na qual se encontram grande parte dos países, sobretudo na Europa. Uma situação que possibilita o emprego da energia como uma ferramenta de dissuasão para garantir poder àqueles que têm o monopólio sobre ela.

A evolução do conflito bélico entre Ucrânia e Rússia acendeu a luz vermelha para aqueles países que dependem da importação de energia e seus insumos. O tema da securitização toma um novo sentido ao ser vinculado ao debate sobre segurança energética, tendo em consideração um contexto global, onde a preocupação por ela atingiu seu ápice com o uso do fornecimento de gás na Europa,

por parte da Rússia, como um mecanismo de pressão e troca. Segundo dados do Conselho da União Europeia, em 2021 o bloco importava cerca de 83%³ de todo o gás natural utilizado na região. Segundo o *Quarterly report on European Gas Markets*, de 2023, publicado pela Comissão Europeia⁴, mesmo após o início do conflito na Ucrânia e a imposição de sanções econômicas à Rússia, até novembro de 2022, o país ainda fornecia cerca de 10% do suprimento de gás da União Europeia.

O evento do Nord Stream⁵, em 2022, foi um evento catalisador para aqueles que entendem a necessidade de possuir uma matriz energética independente. Em setembro de 2022 os gasodutos Nord Stream 1, que fornecia gás natural da Rússia para a Europa, sofreram ataques que resultaram no vazamento de gás no Mar Báltico, expondo a necessidade de que países possam garantir autonomia em relação a sua matriz energética.

O desequilíbrio produzido dentro do mercado internacional de energia fez com que os preços subissem vertiginosamente, em especial nos países mais dependentes, afetando uma gama de serviços e a esfera política e econômica, por vezes vulnerabilizando regiões suscetíveis. Houve o interrompimento, uma decisão tomada de forma unilateral, do fornecimento de gás para alguns países como forma de pressionar a União Europeia e demonstrar o seu nível preocupante de dependência do serviço.

A resolução alcançada pela União Europeia é a de que é necessária a diversificação da matriz energética da região. É preciso não apenas reduzir a dependência do gás natural fornecido pela Rússia, mas também fomentar o desenvolvimento e uso de outros tipos de fontes de energia, inclusive fontes mais limpas, especialmente tendo em consideração o debate atual sobre mudanças climáticas. O plano *REPowerEU* e o pacote *Fit for 55*, apresentados pela Comissão Europeia (2022), são uma clara tentativa de estimular o processo de transição entre as fontes de energia. Um dos argumentos utilizados é a ameaça à segurança energética enfrentada pelo bloco, por outro lado, a União Europeia, através de sua

³ Informação disponível em: <https://www.consilium.europa.eu/en/infographics/eu-gas-supply/>

⁴ Relatório disponível em : [gas%20markets%20Q3_FINAL.pdf](#)

⁵ A estimativa era de que o Nord Stream seria responsável pelo fornecimento de cerca de 12% de todo o gás natural utilizado pela União Europeia até o ano de 2035 (Relatório Nord Stream, 2016).

“Lei do Clima”, estabeleceu a meta de redução, até 2030, de 55% das suas emissões de gases de efeito de estufa⁶, meta da qual o Brasil já vem demonstrando vantagem.

Esse cenário suscitou a volta do debate sobre o uso de energia nuclear. Países que vinham desativando seus reatores passaram a reconsiderar seus planos⁷ e encarar o desenvolvimento da energia nuclear como caminho para a resolução de dois problemas latentes: a segurança energética e demanda por energias renováveis em detrimento dos combustíveis fósseis. Esse movimento também foi impulsionado pelo avanço tecnológico no setor nuclear que hoje oferece dispositivos mais seguros e eficientes.

Nesse contexto, o Brasil ocupa uma posição privilegiada, o que significa que além de ter uma matriz energética diversificada, tem também a possibilidade de auto-suficiência de matérias primas. Em um cenário como o atual, de resgate da fonte nuclear, o Brasil pode colocar-se em uma posição de destaque uma vez que desenvolva o setor em todas as suas etapas. A exploração e enriquecimento de urânio, o ciclo do combustível, e a produção de energia a partir de usinas nucleares podem assegurar ao país uma importante posição de player internacional.

2.2 Descarbonização e Transição energética

A crescente necessidade de independência energética e a urgência de mitigar os efeitos das mudanças climáticas impulsionou países a reexaminarem suas estratégias energéticas. Nesse contexto, a transição para fontes de energia limpa se tornou uma prioridade global. A energia nuclear emerge como uma das principais alternativas para atender a essa crescente demanda, proporcionando uma fonte de energia de baixa emissão de carbono e potencial para a sustentabilidade a longo prazo.

Em termos práticos, a energia nuclear possui uma densidade energética extremamente alta, o que significa que, a partir de uma quantidade relativamente pequena de material nuclear, é possível gerar grandes quantidades de eletricidade. Isso resulta em um menor impacto ambiental em termos de extração de recursos e no uso de espaço físico necessário para a instalação de usinas nucleares em

⁶ Disponível em: https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal/fit-55-delivering-proposals_en

⁷ Na contramão da posição adotada na região, a Alemanha desligou seus últimos reatores em Abril de 2023.

comparação com instalações de energias renováveis em larga escala, como parques eólicos e usinas solares.

A geração de eletricidade a partir de energia nuclear, em comparação com as fontes tradicionais de combustíveis fósseis, emite quantidades significativamente menores de gases de efeito estufa. Ademais, como aludido, a energia nuclear proporciona aos países a oportunidade de se tornarem menos dependentes de importações de combustíveis fósseis, assegurando sua independência no âmbito da energia. Além disso, ela deve ser encarada como uma fonte de energia constante e confiável, o que pode compensar as flutuações na geração de energia a partir de fontes renováveis intermitentes, como a solar e eólica.

No entanto, desafios significativos persistem. O tratamento e armazenamento seguro de resíduos nucleares permanecem uma questão crítica, exigindo soluções tecnológicas e políticas robustas. A segurança de instalações nucleares e a prevenção de proliferação de armas nucleares continuam sendo preocupações cruciais que demandam vigilância e cooperação internacional. A aceitação pública da energia nuclear pode variar entre os países e, muitas vezes, está associada, justamente, a preocupações sobre segurança e acidentes nucleares, questões inerentes a um setor que lida com materiais tão sensíveis.

Seja por motivos de escassez de combustíveis fósseis, como o cenário produzido pelo conflito na Ucrânia, seja pelo comprometimento em reduzir as emissões de CO², hoje os países se voltam novamente para a energia nuclear. Ela figura como parte integral dos planos de descarbonização de diversos países, compondo significativamente a matriz energética da União Europeia, com a França liderando o grupo, como podemos observar no seguinte gráfico:



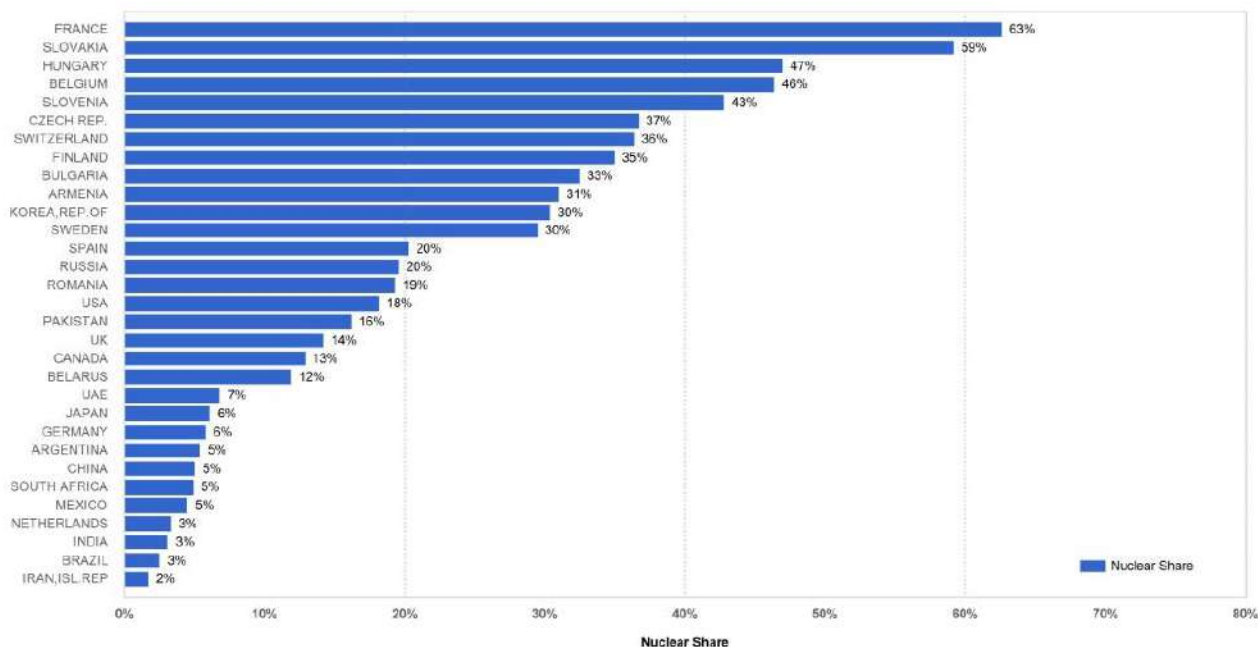


Gráfico 1: Participação da Energia Nuclear na produção de energia elétrica.
 Fonte: International Atomic Energy Agency (2023)⁸.

Esse cenário de desconfiança vem sendo superado nos últimos anos, uma vez que a energia nuclear tem se apresentado com a solução viável para o processo de transição energética de vários países. A corrida pela construção de novos reatores desdobra-se no aumento da demanda por combustível e matéria prima. Os recentes conflitos bélicos e a questão política interna do Níger demonstram a vulnerabilidade de alguns países em relação a sua dependência, agora de insumos nucleares. Ter disponível tanto matéria-prima quanto a tecnologia para operá-la, garante aos países uma independência energética e uma transição energética segura.



⁸ Relatório Nuclear Power Reactors in the World, nº2, 2023 Edition. Disponível em: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-43_web.pdf

3. Panorama de energia nuclear no Brasil

A primeira descoberta de urânio foi nas cidades de Poços de Caldas (Minas Gerais) e Jacobina (Bahia), na década de 1950. Em 1956 foi criada a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN)⁹ que foi estruturada pela Lei 4.118/62. O objetivo da comissão seria o de organizar a política nacional de energia nuclear, procurando desenvolver o setor. Já em 1962 um departamento de exploração mineral foi fundado com o auxílio da French Alternative Energies and Atomic Energy Commission (CEA). Na mesma época, o Brasil assinou um acordo de cooperação com os Estados Unidos para a pesquisa e desenvolvimento do potencial de exploração de urânio no Brasil (Patti, 2014).

Na década de 1970 o Brasil viu a expansão do incentivo à exploração mineral e foi fundada, em 1974, a NUCLEBRÁS (Empresas Nucleares Brasileiras S/A), uma empresa estatal que seria responsável pelo setor de mineração de urânio no Brasil. Durante esses anos o Brasil enfrentou forte restrição dos Estados Unidos no desenvolvimento do setor nuclear brasileiro, em função disso, o país buscou estabelecer acordos para o desenvolvimento nuclear com outros países e em 1975 assinou com a República Federativa Alemã, um acordo¹⁰ para o compartilhamento de tecnologias (Kamioji; Santos Filho, 219). O resultado dessa cooperação foi a descoberta de 8 áreas com presença de urânio (OECD, 2022), são elas: Poços de Caldas, Figueira, Quadrilátero Ferrífero, Amarinópolis, Rio Preto/Campos Belos, Itataia, Lagoa Real e Espinharas (INB, 2023)¹¹.

Segundo Relatório de 2022 da OECD, a primeira área a ser explorada no Brasil foi a de Poços de Caldas, em Minas Gerais, a partir de 1982 até 1988, voltando a funcionar entre 1993 e 1995, até ser finalmente concluída em 1998. Parte da desmobilização do setor nuclear brasileiro refere-se ao programa de reestruturação nuclear que teve como um de seus resultados a dissolução da NUCLEBRAS EM 1988/9. É como resultado desse movimento que surge a INB (Indústrias Nucleares

⁹ Informações disponíveis em: <http://antigo.cnem.gov.br/quem-somos#:~:text=Miss%C3%A3o%20CNEN&text=A%20Comiss%C3%A3o%20Nacional%20de%20Energia.pol%C3%ADtica%20nacional%20de%20energia%20nuclear>.

¹⁰ Informações disponíveis em: <https://www.wilsoncenter.org/publication/brazils-1975-nuclear-agreement-west-germany>

¹¹ Disponível em: <https://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ur%C3%A2nio/Recursos>

do Brasil S.A), estatal que mais tarde será responsável também pelos ativos minerais antes controlados pela Urânio do Brasil S/A até 1994 (IAEA; NEA, 2023).

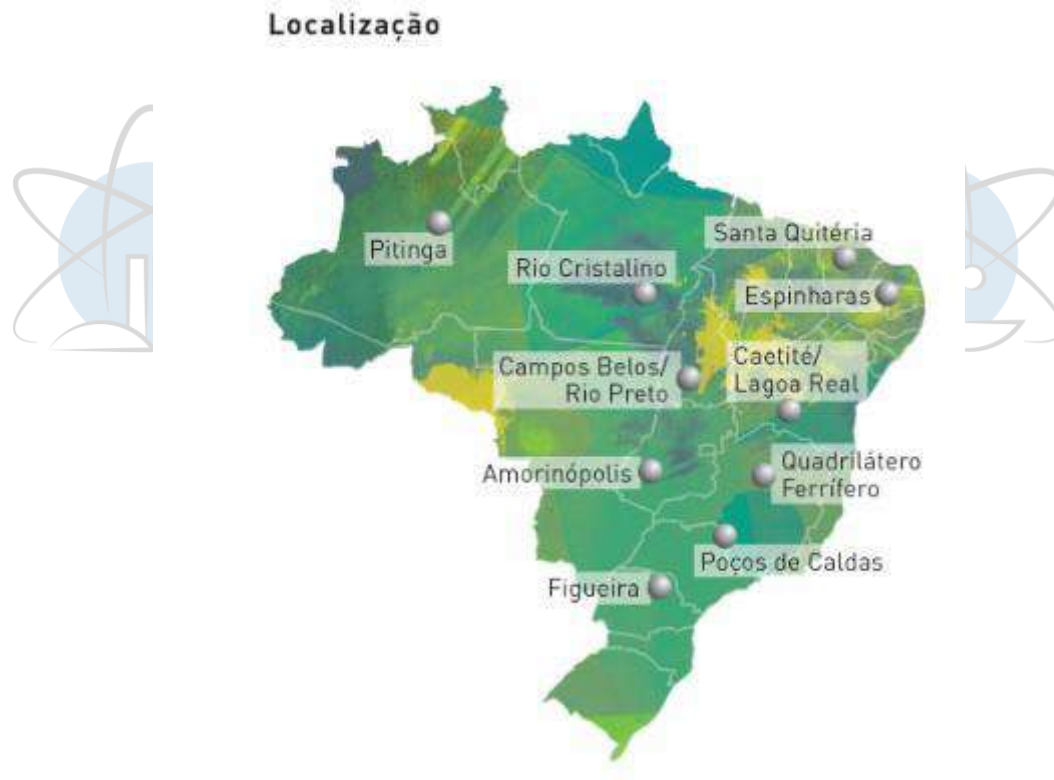


Figura 2: Mapa das áreas para onde há a reservas de urânio no Brasil
Fonte: Indústrias Nucleares do Brasil. Disponível em: <https://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ur%C3%A2nio/Recursos>

A política energética brasileira, segundo a constituição, tem como objetivos o uso pacífico da tecnologia nuclear. Hoje ela é regida pelo Decreto 9.600/18 (Brasil, 2018) que define:

Art. 1º A Política Nuclear Brasileira tem por finalidade orientar o planejamento, as ações e as atividades nucleares e radioativas no País, em observância à soberania nacional, com vistas ao desenvolvimento, à proteção da saúde humana e do meio ambiente. (Brasil, 2018)

O Brasil, portanto, tem como objetivo a auto-suficiência e busca por autonomia tecnológica. Para isso é importante que políticas públicas sejam formuladas de forma a otimizar o crescimento do setor no país, tanto para o desenvolvimento da mineração, quanto para o enriquecimento do mesmo e a produção de energia. Desse modo, o Brasil poderá conquistar sua independência em todas as etapas produtivas que giram em torno da energia nuclear. Hoje, o Brasil conta com minas de urânio que

podem torná-lo auto-suficiente em matéria-prima, todavia, o processo de enriquecimento ainda está aquém do necessário.

O país conta com duas Usinas Nucleares, Angra I e Angra II, ambas com reatores de água pressurizada (PWR). O plano de construção de uma terceira usina, Angra III, iniciado durante a década de 1980, segundo o Plano Nacional de Energia 2050, publicado em 2020, esta também contará com esse mesmo tipo de tecnologia. No entanto, o plano propõe que a partir de 2030 comecem a ser usadas novas tecnologias, como os Reatores Pequenos Modulares (SMR).

A busca pelo desenvolvimento de novas tecnologias impulsiona a pesquisa brasileira. Em uma colaboração estabelecida por entidades, entre elas a Marinha Brasileira e o IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), o Brasil vem trabalhando no projeto do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), que promoverá um avanço em diversas áreas, dada a sua utilidade para a medicina e indústria. Por outro lado, há pesquisas sobre o desenvolvimento do submarino com propulsão nuclear (SN-BR), que em 2023 receberá investimentos para sua construção¹².

Um dos temas do PNE 2050 é a necessidade de explorar parcerias público-privadas para o impulsionamento do setor nuclear no Brasil. Em 2022, foi definida a Medida Provisória 1133, transformada na Lei 14.514/22, que permite a colaboração entre o setor público e privado na exploração de urânio no Brasil. As atividades relacionadas ao manejo de urânio no Brasil eram restritas apenas a INB (Indústrias Nucleares do Brasil), um monopólio garantido pela Constituição Brasileira, conforme exposto no artigo 2º da Lei 14.514/22:

Art. 2º A Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB) é empresa pública com a finalidade principal de executar o monopólio da União sobre as atividades previstas no inciso XXIII do *caput* do art. 21 e no inciso V do *caput* do art. 177 da Constituição Federal. (Brasil, 2022)

Apesar de manter esse monopólio, a INB agora pode contar com a ajuda de empresas privadas para a realização de algumas etapas da exploração de urânio, bem como para o desenvolvimento de tecnologias e da infraestrutura necessária para o processamento de urânio

Até 2023, a única mina de urânio explorada no Brasil é a de Caetité, na Bahia. A mineração de Caetité foi retomada após um hiato no projeto. Segundo dados da

¹² Ambos os projetos foram incluídos no Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) no ano de 2023. (Brasil, 2023)

INB, os recursos disponíveis na mina estão distribuídos em 17 depósitos ¹³. De acordo com a estatal, a “A INB Caetité tem capacidade de produzir cerca de 400 toneladas/ano, podendo chegar a 800t com a lavra da mina do Engenho, da mina subterrânea e a duplicação da capacidade de produção da unidade”¹⁴. Para impulsionar a mineração de urânio, foi firmada uma parceria entre a INB e a Galvani para a exploração da reserva de Santa Quitéria (INB; Galvani, 2023), no Ceará.

Uranium production centre technical details
(as of 1 January 2021)

	Centre #1	Centre #2	Centre #3
Name of production centre	Caetité/Cachoeira	Santa Quitéria	Caetité/ Engenho
Production centre classification	Planned	Planned	Existing
Date of first production	2027	2024**	2020
Source of ore:			
Deposit name(s)	Cachoeira	Santa Quitéria	Engenho
Deposit type(s)	Metasomatic	Phosphate	Metasomatic
Recoverable resources (tU)	10 100	50 000**	5 000*
Grade (% U)	0.3	0.08	0.2
Mining operation:			
Type (OP/UG/ISL)	UG	OP	OP
Size (tonnes ore/day)	1 000	13 000**	1 000
Average mining recovery (%)	90	90	90
Processing plant:			
Acid/alkaline	Acid	Acid	Acid
Type (IX/SX)	SX	SX	HL/SX
Size (tonnes ore/day)			
Average process recovery (%)	90	80**	70
Nominal production capacity (tU/year)	340	1 950**	220
Plans for expansion (yes/no)	No	No**	Yes
Other remarks	OP operation from 1999 to 2014	Co-product phosphoric acid	To be sent to Caetité mill

* Expected production at Engenho mine.

** Updated according to current project.

Tabela 1: Dados sobre produção de urânio no Brasil
Fonte: Nuclear Energy Association, OECD 2023.¹⁵

No mais, o PNE¹⁶ define que a política energética:

deve estar baseada em uma análise de custo-benefício mais geral não restrita apenas a seus serviços no setor elétrico (incluindo-se possíveis ganhos de escala), mas também às economias de escopo em

¹³ Informação disponível em: <https://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear/Minera%C3%A7%C3%A3o>

¹⁴ Informação disponível em: <https://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ur%C3%A2nio/Produ%C3%A7%C3%A3o>

¹⁵ Relatório disponível: https://read.oecd-ilibrary.org/nuclear-energy/uranium-2022_2c4e111b-en#page5

¹⁶ A versão publicada do PNE 2050 foi aprovada conforme Portaria MME n° 451, de 16 de dezembro de 2020.

atividades como defesa (submarino com propulsão nuclear), medicina nuclear (equipamentos de diagnósticos, radiofármacos, etc) agricultura (controle de pragas, irradiação de alimentos, etc) entre outros. (Brasil, 2020).

Ou seja, é preciso estar atento aos benefícios que o desenvolvimento de uma política nuclear pode ter em outras áreas para além da energética. Nesse sentido, o processo de formulação de políticas públicas e de incentivo devem levar em consideração os possíveis ganhos econômicos e tecnológicos oriundos da expansão do complexo nuclear brasileiro.

Faz parte do novo plano do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do governo federal, o eixo de “Transição e Segurança Energética” que visa o desenvolvimento de uma matriz energética diversificada no país. O plano destina cerca de R\$1,9 milhões de reais¹⁷ para o desenvolvimento do setor nuclear, além disso, há a perspectiva de inclusão do projeto de construção de Angra 3.

O setor nuclear no Brasil é composto por diversas entidades e empresas públicas e privadas. Apresentamos aqui os principais agentes que atuam no setor nuclear em suas diferentes etapas e dimensões.

- Indústrias Nucleares Brasileiras (INB): Fundada em 1988 após o desmembramento da NUCLEBRÁS, está hoje vinculada ao Ministério de Minas e Energia tendo, desde 2022, seu controle sido exercido pela ENBpar. Ela detém o monopólio da exploração de urânio em todo o seu ciclo e é encarregada pela pesquisa, lavra, produção de *yellowcake*, enriquecimento, produção de pastilhas e pós e a finalização do combustível nuclear. É de sua responsabilidade a Fábrica de Combustível Nuclear, localizada em Resende (RJ).
- Eletronuclear: A Eletronuclear é responsável pela operação e construção das usinas nucleares brasileiras. Com foco em segurança e eficiência, a empresa opera as instalações nucleares de Angra I e Angra II, sua atuação é essencial para garantir o fornecimento estável de eletricidade, a partir da fonte nuclear, e fortalecer a segurança energética do país.

¹⁷ Informações disponíveis em: <https://www.gov.br/casacivil/novopac/transicao-e-seguranca-energetica/geracao-de-energia>

- Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A (NUCLEP): A Nuclep atua na fabricação e comercialização de equipamentos de grande porte destinados às usinas de energia nuclear no Brasil. A sua participação hoje inclui o fornecimento de equipamento para o Labgene no âmbito do ProSub em fase de desenvolvimento pela Marinha.
- Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN): A CNEN é hoje uma das principais autarquias atuantes no setor nuclear. Ela está subordinada ao Ministério de Ciência, Inovação e Tecnologia, atuando tanto no desenvolvimento de pesquisa, quanto na regulação, no licenciamento e na fiscalização das atividades nucleares, estão vinculados a CNEN, o CDTN, o IEN, o IPEN e o IRD. A CNEN deve ter parte de suas funções atribuídas à ANSN, com a transferência de suas atividades regulatórias para a Autoridade, uma vez que esta entre em operação.
- Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN): O IPEN é atualmente gerido pela CNEN e está localizado dentro do campus da Universidade de São Paulo (USP). O Instituto é responsável pelo desenvolvimento de pesquisa e aplicação das tecnologias nucleares, em diversas esferas, desde energia até a medicina, incluindo o desenvolvimento do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB).
- Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro (CDPNB): Órgão submetido ao Gabinete de Segurança Institucional da Presidência, atua sobre a manutenção do Programa Nuclear Brasileiro (PNB), no que diz respeito ao seu desenvolvimento e plano de ação. Foi responsável, em 2022, por propor grupos de trabalho voltados a discutir sobre radioisótopos e a exploração nuclear.¹⁸
- Amazônia Azul Tecnologias de Defesa (Amazul): Hoje a AMAZUL é uma empresa estatal dependente, operando no âmbito do desenvolvimento de tecnologias e operações do setor nuclear, Ela atua fornecendo suporte e *expertise* a um conjunto de projetos, incluindo a construção do submarino nuclear.

¹⁸ Referência: Brasil, 2022c

- Marinha do Brasil: A Marinha tem, desde 1979, o seu próprio programa nuclear, complementar ao PNB. Ela é responsável por um avançado desenvolvimento tecnológico, em função do Programa de Submarinos, o ProSub. Em Aramar a Marinha dedica-se à construção do pequeno reator a ser embarcado, conduzindo o projeto do LABGENE. Ela também é responsável pela planta de Conversão de Hexafluoreto de Urânio, a USEXA.
- Ministério de Minas e Energia: Foi criado pelo Decreto 48.151 em 1960 e desde então é responsável pela formulação de políticas públicas que gerem o setor energético do Brasil, implementando ações que visam a segurança energética. Dentre suas atribuições está o gerenciamento do setor nuclear, bem como a regulamentação das atividades em consonância com a CNEN. Com o Decreto 11.350 de 2022, o MME passou a contar com a Secretaria de Transição Energética na gestão da política nuclear.
- Ministério de Ciência, Inovação e Tecnologia: Criado pelo Decreto 91.146 de 1985, suas funções hoje são definidas pelo Decreto 11.334 de 2023 que define sua participação no desenvolvimento da política nuclear, a partir do estímulo ao desenvolvimento da ciência e de novas tecnologias. Está atrelado ao MCTI importantes instituições de fomento à pesquisa como o CNPq e a FINEP.
- Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear: Fundada em 1961, a SBMN tem como objetivo promover o nuclear no âmbito da medicina. Em cooperação com a *International Atomic Energy Agency*, trabalha em prol do avanço da medicina nuclear no Brasil.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA): Autarquia que rege a política ambiental brasileira, é o órgão ligado ao MME que tem por finalidade, a partir da Lei Complementar 140/11, operar o licenciamento de atividades nucleares tendo em consideração seus impactos ambientais.
- Associações
Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN): Fundada em 1982, é composta por grupo de pesquisadores que atuam ou atuaram no setor

nuclear brasileiro. Seus objetivos são o desenvolvimento e promoção dos diversos empregos do nuclear e de seu benefício à sociedade.

Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN): Instituída em 1987, a ABDAN atua como articuladora para o desenvolvimento do PNB. Possui parceria com diversas empresas nacionais e internacionais do setor nuclear, impulsionando o seu desenvolvimento, especialmente na dimensão econômica.

3.1 Matriz Energética Brasileira

A política energética do Brasil, conforme estabelecido no primeiro artigo da Lei Federal nº 9.478 de 1997 (Brasil, 1997), é composta por 18 objetivos que esclarecem a atuação do Governo Federal em relação à promoção e garantia do fornecimento energético do país. A legislação estipula que as políticas nacionais devem estar voltadas para o uso eficiente das fontes de energia, tendo como meta principal atingir uma série de objetivos estratégicos. Essas diretrizes incluem a promoção da diversificação da matriz energética, visando aumentar a segurança e a estabilidade no fornecimento de energia. Além disso, busca-se a sustentabilidade ambiental, promovendo práticas que minimizem os impactos ambientais associados à produção e consumo de energia, alinhando-se com os esforços globais de preservação do meio ambiente em resposta ao atual cenário de mudanças climáticas.

Ao focar na eficiência energética, estimula-se a adoção de tecnologias e práticas que otimizem a produção e consumo de energia, encorajando a redução do desperdício, ao passo que visa aumentar a eficácia do processo. Isso define a primordialidade da difusão de fontes renováveis de energia, atuando tanto na redução das emissões de gases de efeito estufa, como na manutenção de uma matriz energética que seja mais sustentável e esteja alinhada com as demandas ambientais atuais.

A necessidade de pensar uma matriz energética sustentável e livre de emissões de CO² aparece como parte da PEB brasileira em 2011, com a adição de 6 incisos a partir da Lei 14.490/11. Dois deles são:

XVII - fomentar a pesquisa e o desenvolvimento relacionados à energia renovável;

XVIII - mitigar as emissões de gases causadores de efeito estufa e de poluentes nos setores de energia e de transportes, inclusive com o uso de biocombustíveis. (Brasil, 2011)

Objetivos estes que vem sendo correspondidos, já que, segundo o Atlas (2022) publicado pela Empresa de Pesquisa Energética em parceria com outras instituições,¹⁹ 45% de nossa matriz energética é renovável, ao passo que o Operador Nacional do Sistema (ONS) aponta que aproximadamente 80% da energia elétrica fornecida ao Sistema Interligado Nacional (SIN), em 2022, provém de fontes renováveis. No entanto, ainda há a necessidade de colaborar com outros setores da economia para o avanço da utilização de fontes limpas.

O atual cenário energético brasileiro tem como principal foco a expansão das fontes de energia eólica e solar. Essas fontes, embora promissoras, são caracterizadas pela sua intermitência, uma vez que a produção de energia está diretamente ligada a fatores contingenciais. Essa variabilidade na geração de energia representa um desafio significativo para o ONS, entidade responsável por coordenar e otimizar a combinação de fontes de energia disponíveis para atender à demanda em tempo real, evitando apagões e situações análogas.

A crescente importância dada às fontes renováveis de característica intermitente em nossa matriz energética, reflete essa busca pela sustentabilidade e a redução das emissões de gases de efeito estufa. Entretanto, por dependerem de fatores ambientais inconstantes (sol e vento), tais fontes demandam o aprimoramento dos sistemas de armazenamento e distribuição de energia, para que sejam evitados episódios como apagões. Além disso, a introdução em larga escala das fontes intermitentes exige uma reavaliação das estratégias de planejamento energético e da infraestrutura da rede elétrica. Isso torna essas fontes uma opção dispendiosa, uma vez que o objetivo é garantir a estabilidade e a confiabilidade do fornecimento de energia, especialmente no contexto brasileiro de crescimento progressivo de consumo de energia.

Por sua vez, as hidrelétricas têm hoje o papel de destaque na matriz energética brasileira, representando cerca de 60% da fonte energética brasileira (ONS, 2022). A abundância de recursos hídricos no Brasil permitiu o desenvolvimento desse tipo de

¹⁹ Atlas da Eficiência Energética do Brasil - 2022. Foi publicado com a cooperação da IEA e da IABr. Disponível em: https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-741/Atlas_of_Energy_Efficiency_Brazil_2022.pdf

fonte energética, possibilitando a construção da Usina de Itaipu que desempenha um papel significativo na integração energética e no desenvolvimento regional da América do Sul, já que abarca também o Paraguai. As fontes hídricas além de atenderem a uma parcela significativa da demanda de energia, também contribuem para a diversificação da matriz, reduzindo o emprego de fontes poluentes.

A adoção destas fontes de energia em função da transição energética do país, visa a garantia de uma matriz energética majoritariamente limpa. Segundo os dados da matriz de energia elétrica disponibilizados pelo Sistema Interligado Nacional (SIN), oferecidos pelo ONS, hoje o Brasil tem a seguinte distribuição de fontes de energia:

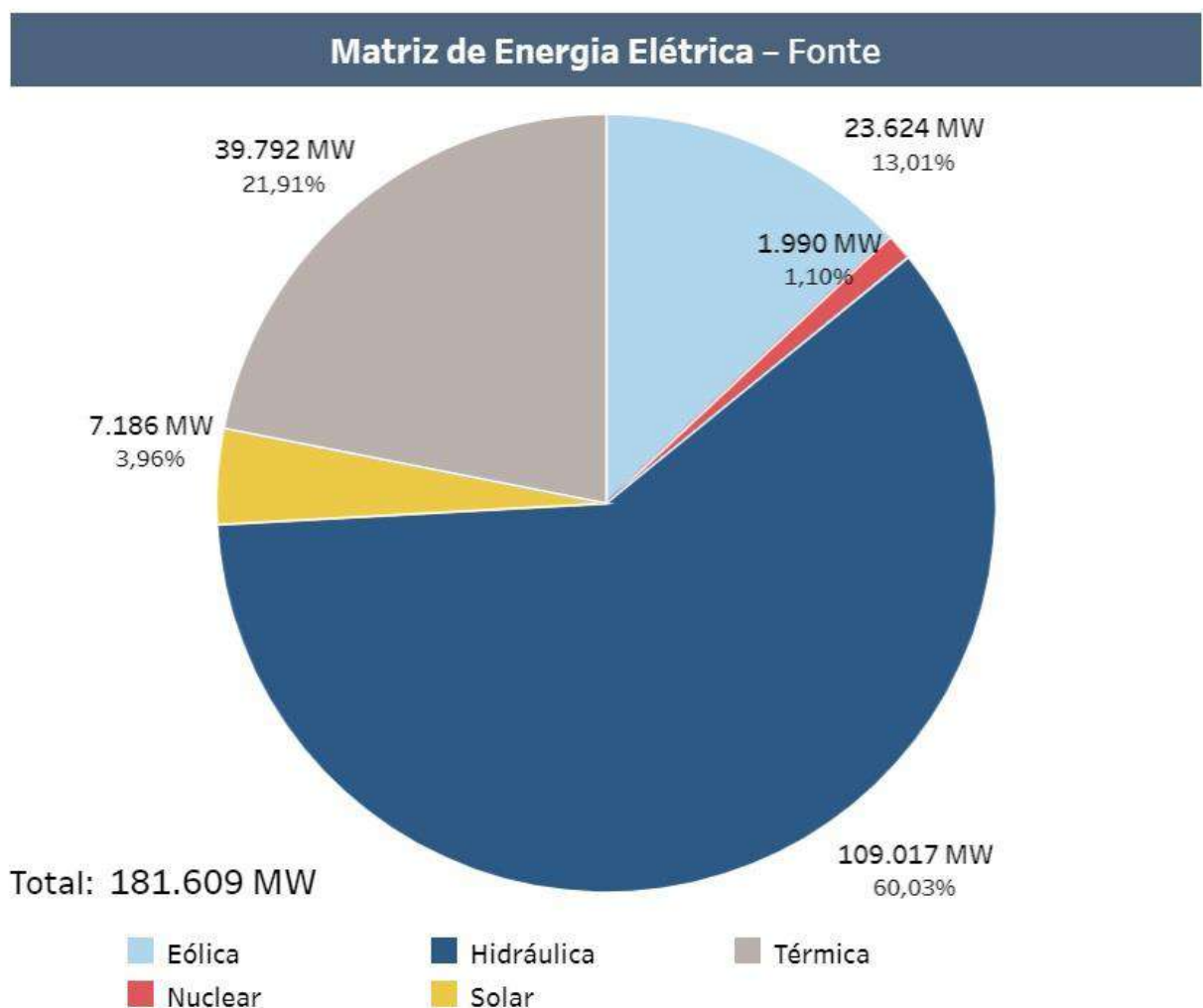


Gráfico 2 : Componentes da Matriz Energética Brasileira em 2023
Fonte: Sistema Interligado Nacional (SIN); Operador Nacional do Sistema²⁰.

²⁰ Gráfico gerado em 02/11/2023. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros>

O novo PAC, anunciado em 2023, colocou em evidência a importância da transição e da segurança energética para o Brasil. O investimento no eixo “Transição e Segurança Energética” é essencial para promover a diversificação da matriz energética brasileira, garantindo a soberania do país. Além disso, visa assegurar a estabilidade e eficiência no fornecimento de energia, impulsionando o crescimento econômico de forma acelerada. Para alcançar tais objetivos está previsto um investimento total de R\$565 bilhões de reais²¹.

Dentre as alocações orçamentárias específicas, está o já mencionado investimento de R\$1,9 milhão de reais destinados à área Térmica Nuclear. Essa alocação reflete o empenho do país na exploração da tecnologia nuclear. Apesar do investimento ser considerado relativamente baixo, essa iniciativa pode ser o primeiro passo em direção à consolidação do Brasil como uma potência nuclear a nível internacional. É crucial compreender que a energia nuclear representa uma alternativa promissora, uma vez que parte substancial das reservas mundiais de urânio está localizada em território nacional. Diante da perspectiva de um aumento significativo no consumo de energia *per capita*, em virtude do contínuo desenvolvimento econômico do país, a geração de energia nuclear possui o potencial de se tornar uma fonte importante em nossa matriz.

As usinas nucleares de Angra I e Angra II representam uma fonte estável de geração de energia, operando com uma capacidade instalada de cerca de 2 GW/h (ONS, 2022). Com baixas emissões de gases de efeito estufa, desempenham um papel importante na redução do impacto ambiental associado à produção de energia. Nesse sentido, observamos que o Brasil enfrenta o desafio de expandir sua capacidade de geração de energia ao longo das próximas duas décadas, ao mesmo tempo em que busca manter sua matriz energética ecologicamente equilibrada. Para alcançar esse objetivo, o planejamento energético do país contempla a possibilidade de construção de até oito usinas nucleares até o horizonte de 2030, como estabelecido pelo PNE (Brasil, 2020).

O potencial da energia nuclear, aliado às abundantes reservas de urânio do país, coloca o Brasil em uma posição estratégica no cenário global. Ao investir na expansão desta fonte energética, o Brasil impulsionará o desenvolvimento de todo o

²¹ Informação disponibilizada pelo governo federal em:
<https://www.gov.br/casacivil/novopac/transicao-e-seguranca-energetica>

setor nuclear e seus correlatos. Este investimento não só promove avanços tecnológicos, mas também contribui para o progresso econômico e a consolidação da capacidade nacional no campo da energia nuclear.

3.2 Angra III

O consumo da energia elétrica no Brasil vem crescendo desde os anos 70, crescimento este que está a um nível acima do crescimento do PIB. Se tal consumo não for acompanhado do aumento da capacidade instalada do setor elétrico, pode ocorrer racionamento da energia elétrica para a população. Adicionado a isso e com os impactos ambientais gerados pelo setor elétrico convencional, é necessário se atentar para a conclusão da Usina Nuclear Angra 3 (Kneip, 2021). O Brasil possui a uma das maiores reserva de Urânio do mundo e possui tecnologia para o enriquecimento do urânio 238. Os equipamentos principais para sua conclusão já foram comprados e são do valor na ordem de US\$700 milhões, segundo dados fornecidos pela ABDAN, faltariam cerca de R\$ 20 bilhões para a conclusão da construção da usina²². Estes poderiam ser custeados via captação externa, num processo ao moldes de securitização, ou via BNDES sem que sejam necessários recursos orçamentários da União.

Projeções de *valuation* feitas do Empreendimento Angra III calculam o preço mínimo de venda atrativa referente a energia a ser gerada. Nesse caso, calcula-se o valor mínimo da tarifa da energia gerada por Angra III que permite o projeto ser rentável. Abaixo está um gráfico que contém os valores orçamentários para a finalização do projeto:

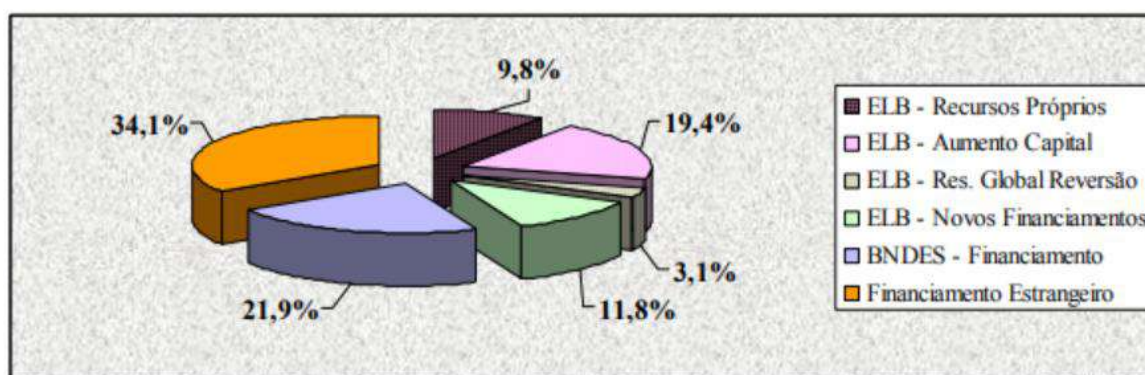


Gráfico 3: Fontes de recursos simulados para a conclusão de Angra III.
Fonte: Ronaldo Barata de Andrade

²² Dados disponíveis em: ABDAN (2023). Vale a Pena Construir Angra 3?, Folder.

O planejamento do empreendimento compreende em um prazo de aproximadamente 6 anos, sem contar atividades preparatórias. A operação comercial da planta, isto é, a vida útil, seria em torno de 40 anos. Com base no modelo de precificação dos ativos financeiros (CAPM), o cálculo do custo do capital próprio é de 13,83% aa, sendo o custo real do capital próprio de 8,30, os autores chegaram a uma tarifa atrativa de equilíbrio de R\$144,00 por WHM. Com esse preço o Valor Presente Líquido do Fluxo de caixa livre descontado pelo custo do capital próprio é da ordem de R\$571,1 milhões. Ou seja, esse é o dinheiro gerado a partir de suas operações diárias e periódicas. Além disso, o índice de Lucratividade Líquida(Receita/Custos) é de 1,44, o que significa que a receita é 44% maior que os custos, expressando assim um bom negócio.

3.3 Plano Nuclear da Marinha

O Programa Nuclear da Marinha (PNM), estabelecido em 1979, constitui uma peça fundamental do amplo Programa Nuclear Brasileiro (PNB), uma iniciativa originalmente proposta pelo visionário Almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva em 1947 e posteriormente autorizada durante a década de 1950. O PNM é guiado por um propósito essencial: o desenvolvimento de tecnologia nuclear voltada estritamente ao uso pacífico, conforme estipulado pela Constituição Federal de 1988 e em conformidade com o compromisso do Brasil no âmbito do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares, ao qual o país aderiu oficialmente em 1998.

Atualmente, o PNM direciona seus esforços em dois principais vetores de atuação. Em primeiro lugar, concentra-se no domínio do ciclo do combustível, englobando a cadeia completa de processos associados à produção e utilização de materiais nucleares. Paralelamente, o programa está voltado para a concretização de um projeto de notável importância: a construção de um reator de pequeno porte, empregando tecnologia PWR ("Pressurized Water Reactor"). Esta iniciativa é impulsionada pelo Programa de Desenvolvimento de Submarinos (Prosub), inaugurado em 2008, o qual visa construir um submarino de propulsão nuclear. Dessa forma, o PNM continua a desempenhar um papel crucial no avanço tecnológico e na segurança do país, ao mesmo tempo em que se alinha aos princípios de uso pacífico da energia nuclear.

O reator nuclear que está em fase de construção possui uma notável versatilidade, podendo ser empregado tanto na propulsão naval quanto na geração de energia elétrica. Esse avanço tecnológico confere à Marinha do Brasil a expertise necessária para o futuro desenvolvimento dos chamados SMR's no Brasil. De dimensões compactas e modulares, esse tipo de reator pode ser fabricado em instalações industriais, podendo ser facilmente transportado e instalado em locais distantes ou onde não seja recomendado a implementação das usinas nucleares convencionais, isso gera economia de custos e no tempo de construção.

A configuração flexível dos módulos permite que atendam a diversas aplicações, alguns exemplos são a geração de energia, de hidrogênio, dessalinização da água do mar, entre outros. Essa capacidade de combinação e adaptação demonstra a potencialidade do SMR como uma solução energética versátil e inovadora para o Brasil.

O Programa Nuclear da Marinha (PNM), de acordo com informações divulgadas pelo seu site oficial²³, abraça uma ampla gama de objetivos estratégicos de significativa relevância. Um desses objetivos é a busca pelo desenvolvimento de tecnologia dual, ou seja, o desenvolvimento de conhecimentos e aplicações que possam ser utilizados tanto em contextos militares quanto civis.

Outro pilar fundamental do PNM é a promoção da geração de energia limpa. O programa se empenha em avançar na produção de energia nuclear, tendo ela como uma alternativa sustentável e ecologicamente responsável para o suprimento energético do país. Além disso, o PNM tem como objetivo a nacionalização de processos e equipamentos, visando fortalecer a capacidade nacional na produção de tecnologias nucleares, reduzindo a dependência de importações e promovendo a autonomia tecnológica do país.

Em sua busca pela inovação na indústria, o PNM estabelece colaborações com universidades e institutos de pesquisa, incentivando o avanço do setor tecnológico. Essa parceria com o setor acadêmico contribui significativamente para o progresso da tecnologia nuclear. Essa colaboração é importante também para a formação de profissionais capacitados a operar as tecnologias já existentes e colaborar para o desenvolvimento de novas. Além disso, o programa almeja a independência em

²³ Consultar: <https://www.marinha.mil.br/ctmsp/programa-nuclear-da-marinha>

tecnologias sensíveis, garantindo a segurança e a capacidade de operação em setores estratégicos, reforçando a soberania do Estado brasileiro.

O PNM também desempenha um papel crucial na expansão da indústria de defesa brasileira. Ao promover a criação e aprimoramento de tecnologias essenciais para a segurança nacional, o programa contribui para o fortalecimento do setor de defesa, conferindo maior autonomia e capacidade de resposta às necessidades do país.

Ao fazer parte do seleto grupo de nações que dominam a tecnologia nuclear, o PNM colabora com para posicionar o Brasil em uma esfera de destaque no cenário internacional. Essa inserção é um marco do avanço e da maturidade do programa, consolidando a capacidade que o Brasil e seus pesquisadores têm em tornar o país em uma potência no campo da tecnologia nuclear.

3.3.1 Centro Industrial Nuclear de Aramar (CINA)

O Centro Industrial Nuclear de Aramar (CINA), localizado em Iperó - SP, desempenha um papel fundamental no avanço das atividades nucleares no Brasil. Dentro de suas instalações, encontra-se o Labgene (Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica), um projeto vinculado ao Programa de Desenvolvimento de Submarinos (Prosub), e o desenvolvimento do RMB, projeto que está sob a responsabilidade do IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares).

A principal missão do Labgene é desenvolver tecnologias associadas à geração de energia a partir de reatores nucleares, com foco especial na aplicação em submarinos, ou seja, uma planta nuclear embarcada. Esta iniciativa é estratégica para a Marinha, visto que proporciona a capacidade de operar submarinos de forma mais autônoma e com maior alcance. A construção de um submarino com propulsão nuclear é uma demonstração de que o Brasil, por meio de suas forças de defesa, está em busca de um protagonismo no campo da tecnologia avançada para fins de proteção da soberania nacional.

Associado a atividade de pesquisa e desenvolvimento do LABGENE foi iniciado o comissionamento e a operação da Usina de Hexafluoreto de Urânio, onde são realizadas as etapas críticas na cadeia de produção de combustível nuclear. Essa instalação é responsável pela conversão do minério beneficiado de urânio (*yellowcake*) em uma forma química adequada para o enriquecimento isotópico.



Figura 3: Ciclo do Combustível no Brasil.
Fonte: Elaboração própria

A planta de conversão de urânio (Usexa), cuja construção está em fase avançada e encontra-se quase completa, é um empreendimento de grande importância estratégica, pois viabiliza a produção de insumos nucleares essenciais para diversas aplicações, tanto na esfera militar quanto na civil. A quase conclusão desta planta é um exemplo da capacidade brasileira de domínio da tecnologia nuclear, contribuindo assim para a autonomia e segurança do país.

Hoje, em Aramar, são conduzidos os seguintes projetos:

- Labgene - Prosub - Em andamento
- O Labgene engloba diversas atividades, desde pesquisas teóricas e experimentos práticos em escala laboratorial. Isso inclui o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas de controle e segurança em reatores nucleares, bem como o estudo de materiais e componentes que possam resistir às condições extremas de um ambiente submarino. Além disso, o laboratório também se dedica à formação de especialistas e técnicos altamente capacitados nesse campo altamente especializado.
- O projeto desenvolvido dentro do escopo do Labgene corresponde a construção de um protótipo em terra que será replicado como o reator embarcado no submarino de propulsão nuclear. A conclusão da construção

desse reator é o ponto chave não apenas para o Prosub, mas também para que o Brasil seja capaz de construir SMR's.

- Planta de conversão de urânio (Usexá) - Em fase de conclusão

O comissionamento e a operação da Usina de Hexafluoreto de Urânio (Usexá) representam um ponto de inflexão na cadeia de produção de combustível nuclear. A Usexá desempenha um papel essencial na transformação do minério de urânio beneficiado em hexafluoreto de urânio, que é a forma química utilizada no processo de enriquecimento.

Sua construção envolve uma série de procedimentos rigorosos para garantir que todas as instalações e sistemas da Usexá estejam operando de acordo com os mais altos padrões de segurança e eficiência. Isso inclui testes de equipamentos, verificações de segurança e treinamento intensivo para a equipe responsável pela operação. Essas etapas críticas visam assegurar que a usina esteja pronta para operar de forma segura e eficaz.

Na operação da usina o minério beneficiado de urânio é submetido a um processo químico onde é realizada a sua conversão em hexafluoreto de urânio. Esse composto é fundamental para o subsequente processo de enriquecimento isotópico, etapa essencial na produção de combustível nuclear para reatores (Barros; Pereira, 2010).

É importante ressaltar que a operação da Usexá está sujeita a regulamentações e normativas nacionais e internacionais estritas, visando garantir a segurança do pessoal envolvido, bem como a proteção do meio ambiente da área onde está situada. Além disso, a eficiência operacional da usina é constantemente monitorada, visando aprimoramentos contínuos e a garantia de que a produção de hexafluoreto de urânio seja realizada de maneira satisfatória.

- Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) - Em desenvolvimento pelo IPEN

O RMB é concebido com um propósito altamente versátil, sendo projetado para atender diversas necessidades de acordo com os distintos setores que contempla. Sua funcionalidade multipropósito significa que ele será capaz de atuar em áreas como na medicina nuclear, na produção de radiofármacos, em pesquisas científicas avançadas, e até mesmo na área industrial. A utilização de radiofármacos na medicina, por exemplo, pode significar avanços

substanciais no diagnóstico e tratamento de doenças, beneficiando diretamente a saúde e qualidade de vida da população, através da sua disponibilização ao Sistema Único de Saúde (SUS).

Esta flexibilidade de aplicação é um dos fatores que tornam o RMB um projeto de grande relevância para o desenvolvimento científico e tecnológico do país. Além disso, a capacidade de conduzir pesquisas avançadas em diversas áreas da ciência impulsiona inovações e descobertas tendo o potencial para moldar o futuro do país. Esse projeto é atualmente desenvolvido pelo IPEN.

3.4 Aplicações na Medicina

A energia nuclear tem um papel crucial para o avanço da medicina no Brasil, com uma ampla gama de aplicações em diversas áreas da saúde, devido a utilização de radioisótopos. Em 2022, milhares de procedimentos médicos envolvendo radioisótopos foram realizados no país. O emprego destes em diagnósticos por imagem, terapias e medicina nuclear tem sido uma ferramenta indispensável para profissionais de saúde em todo o país (Hanna *et al*, 2022).

A medicina nuclear tem se destacado devido a sua capacidade de viabilizar diagnósticos precisos para condições médicas complexas, como e exames de cintilografia que proporcionam imagens detalhadas da função de órgãos e tecidos. Além disso, os avanços na tecnologia PET-CT e SPECT têm revolucionado a forma como diagnósticos são realizados, oferecendo informações cruciais para o tratamento de doenças como câncer, cardiopatias e distúrbios neurológicos (Langbein; Weber; Eiber, 2019)

No campo da terapia, a radioterapia desempenha um papel fundamental no tratamento do câncer. Segundo dados do Sistema Único de Saúde (SUS), cerca de 127 mil pacientes foram submetidos a tratamentos de radioterapia no Brasil²⁴. Esta técnica utiliza radioisótopos para destruir células cancerígenas de forma precisa, minimizando danos aos tecidos saudáveis. A eficácia da radioterapia tem contribuído para aumentar as taxas de sobrevivência e melhorar a qualidade de vida dos pacientes (Sociedade Brasileira de Radioterapia, 2023).

²⁴ Dados disponíveis em: <https://www2.camara.leg.br/atividade-legislativa/comissoes/comissoes-temporarias/especiais/57a-legislatura/comissao-especial-sobre-o-combate-ao-cancer-no-brasil/apresentacoes-em-eventos/MARCUSSIMESCASTILHOPresidentedaSociedadeBrasileiradeRadioterapiaSBRT.pdf>

A produção de radiofármacos é um exemplo da importância do desenvolvimento de tecnologias nucleares para a medicina. O Brasil possui uma infraestrutura consolidada para a fabricação e distribuição desses compostos, sendo o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) duas entidades de destaque nesse processo. Ambos fornecem radiofármacos de alta qualidade para hospitais em todo o país.

O desenvolvimento e operação do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) será um evento significativo para a medicina nuclear no Brasil. Com a capacidade de produzir uma ampla variedade de radioisótopos de alta qualidade, o RMB figura como uma peça fundamental no avanço das aplicações médicas que dependem destes elementos, já que a maioria dos radioisótopos utilizados em procedimentos no país ainda são importados. A entrada em operação do RMB significa uma redução substancial na dependência externa e uma maior autonomia no fornecimento desses elementos essenciais para a medicina nuclear.

O RMB também traz consigo a promessa de inovação e pesquisa avançada. Ao possibilitar a produção de radioisótopos específicos em quantidades adequadas, o reator permitirá o desenvolvimento de novas técnicas e tratamentos na medicina. Radiofármacos mais complexos e personalizados podem ser criados, possibilitando abordagens terapêuticas mais precisas e eficazes. Além disso, o reator servirá como uma plataforma para a pesquisa científica na área de medicina nuclear, impulsionando a descoberta de novas aplicações e aprimoramento das técnicas existentes.

A operação do RMB também será responsável por estimular a formação de profissionais altamente qualificados na área de medicina nuclear. Seu funcionamento e manutenção demandam um corpo técnico especializado, possível apenas com a capacitação e a formação de recursos humanos. Isso fortalece o setor nuclear, mas também beneficia toda a comunidade médica, ao promover um ambiente de pesquisa e inovação.

Além das implicações diretas na medicina nuclear, o RMB também tem o potencial de impulsionar a economia do país. Com a produção interna de radioisótopos, cria-se uma nova indústria com capacidade de atender tanto a demanda nacional quanto a internacional. A exportação de radiofármacos e serviços

associados à medicina nuclear pode representar uma fonte significativa de receita para o Brasil.



4. Urânio

4.1 Mercado internacional de urânio

Há muito anos não se via um momento de tantos avanços no mercado internacional de urânio. Após o desastre japonês na usina nuclear de Fukushima em 2011, o preço do urânio caiu paulatinamente. Com esse evento, a energia nuclear passou a ser exclusivamente percebida como uma fonte perigosa. Entretanto, com o avanço da pauta ambiental associado à necessidade de descarbonização, a energia nuclear voltou ao centro das discussões, em decorrência disso houve também o impulsionamento da demanda de urânio e conseqüentemente do seu valor urânio. Recentemente a sua comercialização chegou ao valor de quase 70 dólares a libra, de acordo com a London Stock Exchange Group (2023).

Uranium Spot Prices Hit Highest Levels Since 2011



Source: LSEG

Gráfico 4: O Preço do Urânio, em libras, por ano desde 2010
Fonte: London Stock Exchange Group

O aumento se dá por razões de natureza geopolítica, como a mudança de postura da União Europeia em relação à energia nuclear. Em 2022 a organização definiu a energia nuclear como uma “energia verde” mostrando uma boa vontade em relação à essa fonte energética. Outro ponto importante é o fato da França - que já

tem quase 80% de sua matriz energética composta por fonte nuclear - anunciar um plano de construção de 6 novas²⁵ usinas até o final de 2030.

A França, diferente de outros países, como a Alemanha, dobrou sua aposta na pauta nuclear e o mercado entendeu que isso possibilitaria novos negócios. Juntamente a ela, o gigante asiático, a China, também decidiu que a realização de investimentos em energia nuclear era uma condição necessária para o desenvolvimento econômico do seu país.

A utilização de combustíveis fósseis - principal matéria prima energética chinesa - tornou-se demasiadamente cara e com danos ambientais significativos. Com isso, pelo fato da energia nuclear ter uma baixa liberação de resíduos, a China entendeu que era uma forma de investimento garantidora de segurança energética para o país.

Há, inclusive, parcerias com países da América do Sul - Argentina - em que a China financia a construção de usinas nucleares em troca da obtenção de energia e de um retorno do investimento. No Paquistão, por exemplo, a China planeja investir mais de 4.7 bilhões de dólares para a construção de uma usina nuclear²⁶.

Associado ao fato de duas potências mundiais terem planos de expansão do uso da energia nuclear, o mundo vive, de forma simultânea, duas guerras de escala global. Tanto o confronto entre Rússia e Ucrânia quanto o entre Israel e Palestina são cenários geopolíticos que são levados em consideração pelo mercado para a definição do preço do urânio.

A Rússia abastece, até 2020, cerca de 16% do mercado global, segundo dados da *International Energy Agency* (2022). Através da subsidiária Rosatom, a Rússia é encarregada do fornecimento de combustível para 73 reatores tanto dentro do país como em nações estrangeiras, tais como Ucrânia, Belarus, China e Índia. Ela ainda é responsável por controlar mais de 38% do processo de enriquecimento de urânio globalmente, sendo que em 2020, 41% da produção mundial de urânio era originária do Cazaquistão e enriquecido na Rússia. Empresas russas também desempenham um papel crucial ao oferecer serviços de conversão e enriquecimento de urânio para companhias de energia na União Europeia, com uma estimativa de 24% dos serviços de conversão e 25% dos serviços de enriquecimento em 2020 (IEA,

²⁵ [Ver: https://aben.org.br/china-aprova-a-construcao-de-seis-usinas-nucleares/](https://aben.org.br/china-aprova-a-construcao-de-seis-usinas-nucleares/)

²⁶ [Ver: https://epbr.com.br/paquistao-e-china-assinam-acordo-de-us-48-bilhoes-para-usina-nuclear/](https://epbr.com.br/paquistao-e-china-assinam-acordo-de-us-48-bilhoes-para-usina-nuclear/)

2022). Além da Rússia, empresas francesas, como a Orano, e fornecedores do Canadá e Estados Unidos também são significativos na prestação desses serviços.

O Brasil, por sua vez, por ser detentor de entre a quinta e sétima maior reserva do mundo, tem uma oportunidade de se lançar a um mercado internacional com viés de alta e diversas possibilidades de prospecção de negócios. Entretanto, enganam-se aqueles que pensam que a venda do urânio só pode ocorrer mediante a extração e enriquecimento - apesar de que quando isso ocorre, o valor agregado do produto é maior. É possível, então, dentro do cenário brasileiro, criar um mecanismo de venda futura de urânio para aproveitar o viés de alta do mercado internacional, através de contratos de securitização.

4.1.1 A securitização como um modelo de negócios no mercado de extração de urânio.

O uso de securitização permite à empresa captar recursos financeiros para a realização de projetos, que no presente caso é a extração de urânio (U_3O_8). No qual a própria commodity é o ativo negociado. Assim, é possível vender U_3O_8 para empresas de energia ainda no processo de sua produção, garantindo um bom funcionamento do fluxo de caixa, além de assegurar um preço que proteja de eventuais choques do preço internacional. Para isso, a INB precisa ter um bom *rating* no mercado de capitais para que haja mais interessados em adquirir esses créditos.

Dessa forma, para que a INB possa vender os títulos de crédito é necessário que se crie um *pool* de ativos, neste caso seria o potencial de exploração de minas de urânio. Dessa forma, é possível a venda para uma empresa especializada em securitização, que atua como securitizador, por isso a necessidade de ter uma boa avaliação nas empresas de *rating* do mercado financeiro. Para a INB, as vantagens de financiar a exploração de urânio via securitização decorre dos seguintes motivos: minimizar o risco da volatilidade do preço das commodities, captação de recursos sem a criação de dívidas e financiamento a longo prazo.

Os preços dos títulos de securitização são influenciados pelo preço internacional do urânio, o risco de mercado, ou seja, o risco de eventuais choques negativos de preços como ocorreu em 2011 e o risco de crédito, ou seja, o risco da mineradora de urânio não cumprir com as suas obrigações financeiras. Logo, o preço do título de crédito leva em conta o valor presente dos fluxos de caixa, a taxa de juros

e a data de vencimento do título. Além disso, a INB pode lançar no mercado, através de uma empresa de securitização, diferentes classes de títulos de crédito com diferentes riscos para ampliar o leque de investidores.

Os títulos de crédito podem ser adquiridos tanto com base nos fluxos de caixas dos contratos de venda de urânio, quanto pelo preço de commodities. No presente momento o mercado de urânio (U_3O_8) apresenta um viés de alta no mercado internacional em conjunto com o aumento da demanda mundial por eletricidade e de baixa emissão de carbono, como é o caso da energia nuclear. Logo, no horizonte de médio a longo prazo, o Brasil poderá exportar para a China e Índia, por exemplo, o excedente da produção de urânio.

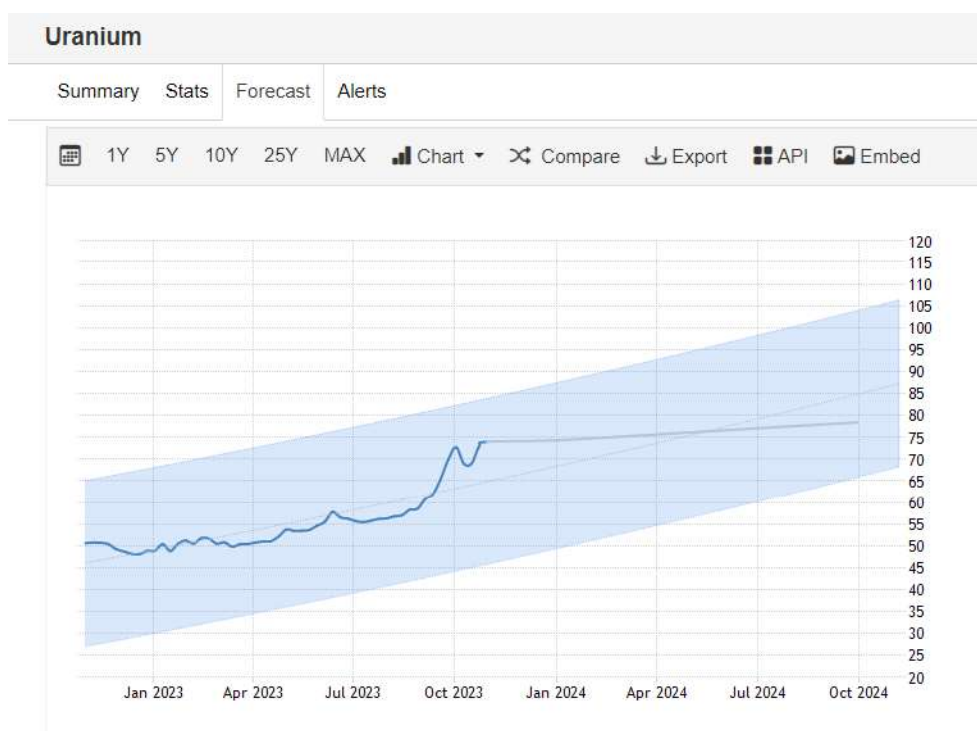


Gráfico 5: Previsão do preço internacional de urânio em libras.
Fonte: Trading Economics 2022.

A mina planejada de Caetité/Cachoeira tem uma capacidade estimada de 340tU por ano e a mina de Santa Quitéria, em fase de prospecção - dado avanços em um Novo Projeto da INB em parceria com a Galvani Fertilizantes - possui uma capacidade de produção estimada de 2300 tU, segundo os dados oferecidos por relatório elaborado pela INB em parceria com a Galvani. Assim, há em torno de 2640tU de capacidade potencial de exploração, esse valor é de aproximadamente 12 vezes da capacidade de exploração da mina do Engenho. Ou seja, o modelo de

financiamento por securitização se destaca como uma boa forma de investimento enquanto a mina de Santa Quitéria não inicia a extração de urânio.

É preciso frisar que a mina do Engenho produziu em 2021 e 2022, respectivamente, 29 e 43tU, e que essa mina é do tipo *open-pit*, segundo a OCDE-NEA/IAEA (2023). Assim, há uma potencial oferta de urânio a ser colocada no mercado internacional, uma vez que há a tendência de elevação do preço deste minério, de acordo com a Trading Economics (2022). Além disso, o Brasil tem espaço para ampliar a capacidade instalada de geração elétrica nuclear, que se encontra no mesmo nível há uma década, no entanto desde 1999 não há uma forte expansão dessa capacidade instalada, essa progressão pode ser observada no seguinte gráfico:

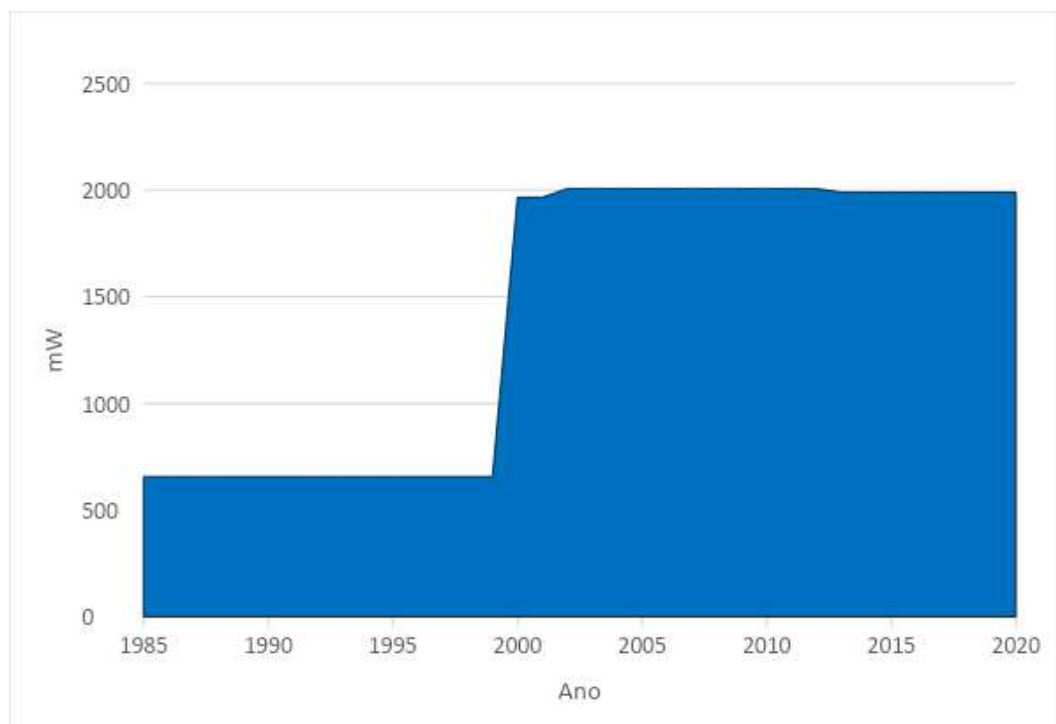


Gráfico 6: Capacidade instalada de geração elétrica nuclear no Brasil.
Fonte: Dados da Empresa de Pesquisa Energética. Elaboração própria.

No Brasil, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética, a reserva geológica energética brasileira teria um total de 309.370 tU, entre aquelas inventariadas e aquelas estimadas. No entanto, tais reservas não tiveram aumento nas últimas duas décadas. Entretanto, essa é apenas uma das estimativas, segundo o Serviço Geológico do Brasil (SGB), o conteúdo mineral total seria de 295.389 tU,,

entre valores estimados e medidos. Infelizmente, muitas projeções em relação ao mineral não são unificadas, embora os valores sejam próximos neste caso. Entretanto, mesmo com estimativas divergentes, tem-se uma oportunidade de usufruir desse montante de urânio, ou algo próximo disso. Sobretudo, levando em consideração que, desde 2020, a produção de urânio tem crescido no Brasil.

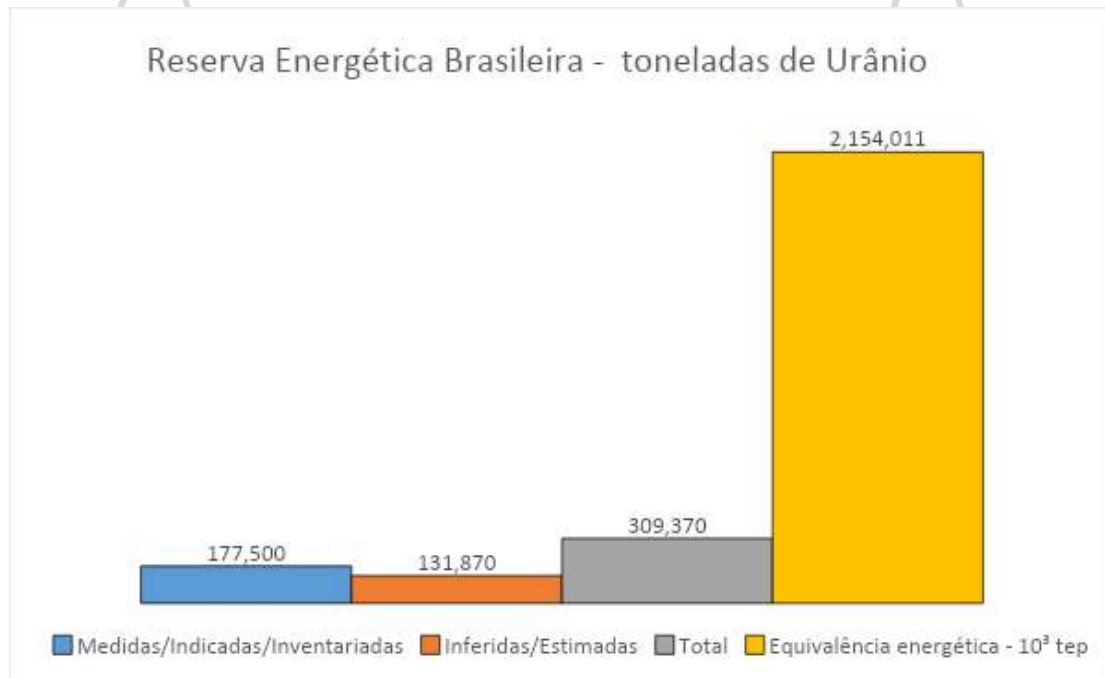


Gráfico 7: Reserva Energética Brasileira - Toneladas de Urânio.
Fonte Empresa de Pesquisa Energética. Elaboração própria.

A prospecção de novas minas pode, em conjunto com políticas de abertura no mercado de capitais e de transição verde, aumentar a participação da energia nuclear na matriz energética brasileira, que em 2022 foi de cerca de 2,1% de participação, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2022). Comparado com outros países, o Brasil encontra-se no mesmo patamar que China e Índia no que tange aos recursos de urânio, tanto os razoavelmente garantidos quanto os recursos inferidos. Austrália, Cazaquistão e Canadá são os países que lideram essa lista. Ainda assim, quando se observa a capacidade instalada por países, o Brasil não figura na lista das maiores nações. Ou seja, há um desequilíbrio entre a oferta de urânio e a capacidade produtiva no país. A prospecção de minas de urânio no Brasil se encontra em um *plateau*, de forma que é impossível inferir com veracidade o volume de reservas de urânio no Brasil em 2023. O seguinte gráfico é um exemplo visual desse *plateau*:



Gráfico 8: Reservas brasileiras de urânio.

Fonte: Empresa de Pesquisa Energética. Elaboração própria.

É interessante notar que empresas do Canadá e do Cazaquistão, dado seus resultados financeiros, financiam a extração de urânio via securitização e com um alto volume de captação de recursos. Dessa forma, no caso da INB seguir esses passos, há bastantes indícios de que poderá se tornar uma das maiores empresas do mercado mundial, se projetando com autonomia o mercado primário de urânio.

Nesse sentido, algumas estimativas podem ser feitas incluindo alguns cenários para uma eventual política de securitização. É importante frisar que todas as estimativas são aproximações por conta da restrição de dados públicos de energia nuclear no Brasil.

Em um primeiro cenário, com o Brasil usufruindo de toda a capacidade produtiva das suas minas de acordo com a estimativa SGB (295.389 tU), Consideramos a flutuação do preço do urânio no mercado internacional que vem estabilizando-se, mantendo o valor de cerca de U\$75 dólares a libra(US\$165/Kg)²⁷. Levando em consideração a projeção de toneladas de Urânio da SGB poderíamos ter uma estimativa de Receita Bruta de US\$48.73 bilhões de dólares. Já em relação a estimativa gerada pela Empresa de Pesquisa Energética a Receita Bruta gerada seria de US\$51,056 Bi (Eq 1).

²⁷ É importante frisar que 1 libra equivale a cerca de 0,453592kg. Neste caso, o kilo do urânio custa aproximadamente U\$165 dólares.

(Eq 1) Receita Bruta = Potencial de Produção (em kg) x Preço de Mercado (por kg)

Com as receitas brutas postas poderemos fazer a estimativa de um preço para securitização em cada um dos cenários, para um mesmo período de 10 anos²⁸. O Preço da securitização é calculado vislumbrando alguma taxa de desconto, ou seja, dependendo da taxa de juros praticada (que é determinada pelo risco vigente). Nesse sentido, os cálculos serão feitos baseados nas taxas de desconto de 12,25% (o equivalente a taxa Selic brasileira atual), de 5% e de 1%. Esses três cenários podem representar simulações de riscos diferentes.

O cálculo de preço foi feito baseado na seguinte fórmula de crédito do Urânio:

$$P_u = \sum_{i=1}^n \frac{FC}{(1+j)^i}$$

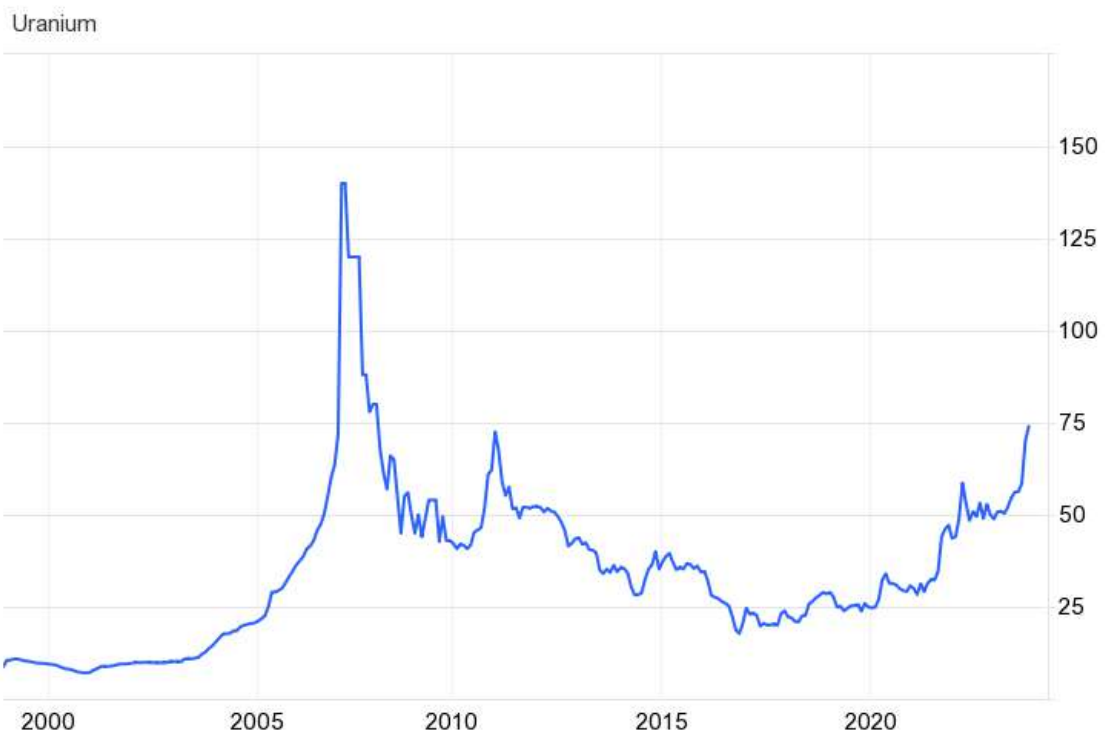
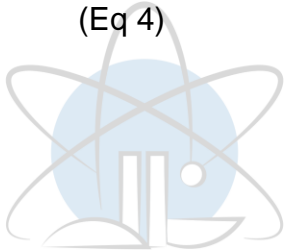
(Eq 2)

No qual P_u é o preço do título de crédito do urânio na vigência da securitização, FC é o fluxo de caixa futuro, dada uma taxa de desconto em n anos. Como não há informações para fluxo de caixa, uma aproximação para tal seria os juros anuais captados com a receita bruta (Eq 3). Logo, o preço da securitização é o somatório do valor presente dos juros anuais, somatório esse que compreende os 10 anos. A tabela um mostra todas as projeções após 10 anos de securitização em diversos cenários de juros. O melhor dos cenários estima o valor disponível para o Brasil em um montante de aproximadamente 91 bilhões de dólares, 10 anos após o início da securitização. Obviamente, o melhor cenário pode variar a depender dos juros praticados e dos eventuais custos impostos. Entretanto, a conclusão é que, independente de vários cenários, há potencialidade de captação de recursos via securitização.

²⁸ Esses cálculos representam uma simplificação da situação e não levam em consideração outros custos ou despesas associados à produção de urânio. Para uma análise financeira mais precisa, é importante considerar todos os custos operacionais, impostos e outros fatores que possam afetar os resultados financeiros.

(Eq 3) $Juros\ Anuais = Receita\ Bruta \times Taxa\ de\ desconto$

(Eq 4) $Valor\ disponivel\ após\ 10\ anos = Receita\ Bruta + Preço\ total\ de\ securitização$



source: tradingeconomics.com

Gráfico 9: Variação do preço do Urânio, em libras, 2000-2022
Fonte: Trading Economics (2023)

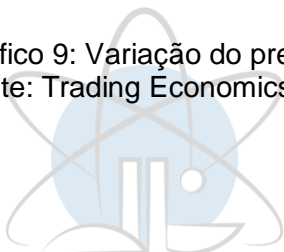




Gráfico 10: Variação do preço do urânio, em libras, durante 2023

Fonte: Cameco (2023). Disponível em: <https://www.cameco.com/invest/markets/uranium-price>

Cenário 1 (12,25% aa)	Potencial Estimado de Urânio (tU)	Receita Bruta (em bilhões)	Juros Anual (em bilhões)	O Preço da securitização Total (em bilhões)	Valor disponív el após 10 anos(em bilhões)
SGE	295.389	US\$48,73	US\$ 5,97	US\$ 38,169	US\$ 86,899
Empresa Energética	309.370	US\$51,056	US\$ 6,25	US\$ 40,1	US\$ 91,15
Cenário 2 (5% aa)	Potencial Estimado de Urânio (tU)	Receita Bruta (em bilhões)	Juros Anual (em bilhões)	O Preço da securitização Total (em bilhões)	Valor disponív el após 10 anos(em bilhões)
SGE	295.389	US\$48.73	US\$ 2,4	US\$ 17,9	US\$ 66,63
Empresa Energética	309.370	US\$51,056	US\$ 2,6	US\$ 20,26	US\$ 71,31

Cenário 3 (1% aa)	Potencial Estimado de Urânio (tU)	Receita Bruta(em bilhões)	Juros Anual(em bilhões)	O Preço da securitização Total (em bilhões)	Valor disponível após 10 anos(em bilhões)
SGE	295.389	US\$48.73	US\$ 0,48	US\$ 4,6	US\$ 53,33
Empresa Energética	309.370	US\$51,056	US\$ 0,51	US\$ 4,9	US\$ 55,96

Tabela 2: Valores aproximados do potencial energético brasileiro caso haja securitização

Fonte: Elaboração própria a partir dos dados da Empresa Energética, SGB.

4.1.2 Santa Quitéria e a parceria da INB com a Galvani, algumas considerações

A INB está construindo uma parceria para a construção de um consórcio com a empresa Galvani para a confecção de um novo consórcio visando a exploração de uma jazida cuja propriedade é da INB. A exploração consiste na extração de produtos fosfatados e concentrados em urânio. Como forma de pagar à Royalties pela exploração da jazida, o concentrado de urânio, por sua vez, seria produzido pela Galvani e destinado a INB para a geração de energia nuclear. Com esse projeto, como já supracitado, o consórcio pretende produzir cerca de 2300 t/a, ou seja 43% mais que o produzido pelo projeto anterior. Com um projeto cujo investimento inicial é de 2,3 bilhões de reais, o projeto pretende aumentar em 4 vezes o PIB da região, além de garantir 11238 empregos diretos e indiretos. Além dessas metas 220.000 t/a de fosfato boticário, que é o principal objeto de extração da empresa

Levando em consideração os preços internacionais do cálcio de fosfato (US\$ 4,653 por Kg, o equivalente a aproximadamente R\$ 22,64²⁹) e do Urânio (US\$ 165,00 por KG, o equivalente a aproximadamente R\$ 803,6) a projeção de receita anual bruta do projeto é de um total de R\$ 6,83 bilhões no ano. Caso os custos operacionais estejam projetados para R\$5,00 bilhões ao ano, por exemplo, em aproximadamente 1,5 anos já haveria lucratividade. Com um custo de 3 bilhões anuais haveria um

²⁹ Cotação do dólar em R\$ 4,87

resgate em 7 meses. Essas estimativas estão levando em consideração a simplificação de que toda a produção será comercializada. Com isso, o projeto pode ser promissor já no médio e curto prazo.

(Eq 4) Anos para Lucro positivo = Investimento Inicial/(Receita Bruta - custos operacionais)

4.1.3 Proposta de contrato de securitização

Como ocorre em outras commodities, um passo crucial para o desenvolvimento do novo Plano Nuclear Brasileiro (PNB) passa pela possibilidade de venda do urânio em um momento anterior à sua extração. Isso pode ser realizado a partir de um contrato de securitização que garanta, de alguma maneira, um valor mínimo para o preço do mineral. Como se trata de um bem com forte oscilação de preço, como foi mostrado no item anterior, é possível vender futuras toneladas de urânio a uma janela de preço pré-fixada de modo que os recursos sejam pagos em parcelas antes da entrega do bem.

Somente ao observarmos o caso da França, por exemplo, vê-se uma grande oportunidade de negócios. O governo francês irá aumentar sua estrutura nuclear com a construção de novas usinas no país.³⁰ Para suprir essas usinas, bem como responder a escassez do urânio na França em virtude da situação no Níger³¹. Somente a mina de Santa Quitéria (CE) tem capacidade suficiente para suprir a demanda das usinas brasileiras e garantir um potencial para exportação.

O exemplo francês é apenas um dentro de um universo de possibilidades financeiras para o país. Enquanto a INB não possui a capacidade produtiva necessária para entregar parte desse urânio já convertido e enriquecido – ou até mesmo na forma do *yellowcake* – pode ser feito um contrato de securitização com garantia de compra futura por uma janela de valor pré-fixada pelo Governo Federal

³⁰ Segundo diálogo com a ministra francesa de transição energética, Agnès Pannier-Runacher, hoje a França carece de cerca de 3.000 toneladas de urânio para abastecer as suas usinas já existentes e as 8 que planeja construir.

³¹ De acordo com dados do Ministério da Energia da França, o Níger fornecia mais de 30% do urânio do país. Contudo, depois do processo de guerra civil e deposição de governo, esse fornecimento foi interrompido.

brasileiro. Os recursos resultantes de operações desse tipo têm o potencial de transformar o PNB com investimentos no Reator Multipropósito Brasileiro, término das obras da Usina de Angra III, bem como o desenvolvimento do submarino de propulsão nuclear da Marinha.

A participação do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) será de fundamental importância para a garantia do lastro econômico da operação, bem como permite a capacidade de operação com juros internacionais, elemento que aumenta consideravelmente a chance de negócios com qualquer país do mundo.

4.2 Mineração e enriquecimento no Brasil

A INB tem um papel fundamental no desenvolvimento do setor nuclear nacional. Por ter o monopólio garantido pela União no que diz respeito extração e mineração de urânio, a empresa é responsável por articular todos os processos que envolvem a matéria prima do combustível nuclear – tais como a pesquisa, lavra, enriquecimento, reprocessamento, industrialização e comércio de minérios nucleares.

Presente em 5 estados da federação, a empresa é regida pela Lei Federal nº 14.514/2022 e segue controlada pela ENBPar. A legislação que rege a INB é recente por conta de mudanças promovidas pelo governo federal no setor da energia nuclear. Com o advento dessa lei, o mercado de urânio brasileiro inicia uma integração mais forte com o resto do mundo. Apesar do país possuir a sétima maior reserva de urânio do mundo³², a situação do urânio como modelo de negócios no país é bem diferente desse protagonismo nas reservas.

Mesmo com muitas reservas, o Brasil ainda precisa comprar urânio enriquecido de países como a Rússia, porque não possui capacidade produtiva de extração em larga escala. O país sequer consegue abastecer suas duas usinas nucleares (Angra I e Angra II). Nesse sentido, o aumento da capacidade produtiva da INB é condição *sine qua non* para o desenvolvimento econômico do setor.

Não obstante, além de precisar comprar urânio estrangeiro mesmo com reservas abundantes, o país ainda precisa encaminhar o volume de urânio que é extraído em solo nacional para a Europa para realizar uma das fases do combustível nuclear – a conversão. Paradoxalmente, o Brasil é uma das poucas nações do mundo

³² De acordo com dados da World Nuclear Association (2022).

que domina o ciclo do combustível nuclear, ou seja, o país possui a tecnologia para realizar a conversão no próprio país, mas como não há urânio suficiente, o custo da conversão no país é muito dispendioso, mesmo que a Marinha do Brasil tenha desenvolvido a USEXA.

Há um momento de retomada quantitativa do enriquecimento de urânio no Brasil. Associado a isso, a inauguração de cascatas ultra centrífugas é um requisito necessário para o aumento da capacidade de enriquecimento. Fica claro que quanto maior o número de cascatas, maior será a capacidade de enriquecimento do país e, conseqüentemente, sua autossuficiência.

Essa autossuficiência faz parte da estratégia contida no PNE 2050 (2020) em que o Ministério de Minas e Energia estabelece uma série de encaminhamentos na área da energia nuclear, tais como: término da obra de Angra III e construção de uma nova usina nuclear até 2031. Além disso, a expansão do processo de enriquecimento é importante para um futuro ainda não conhecido pelos especialistas em energia nuclear.

Não obstante, o Brasil não realiza um levantamento de suas reservas de urânio há mais de 10 anos. Com isso, a comunidade internacional espera que, mesmo com uma posição privilegiada de sétimo maior detentor de reservas de urânio no mundo, sejam descobertas novas terras com o minério ao redor do país. Nesse sentido, o país precisa estar preparado para a comercialização, bem como para o enriquecimento desse minério.

Ainda sob o ponto de vista do enriquecimento, é preciso reforçar que, apesar de ter a tecnologia e as instalações necessárias para realizá-lo, o Brasil ainda compra urânio enriquecido, em função da incapacidade produtiva da fábrica da INB em Resende (RJ), não correspondendo a necessidade para a realização geral desse enriquecimento.

Somente em urânio enriquecido foram milhões de euros gastos nos últimos anos, de acordo com dados públicos da INB. Isso evidencia que o aumento da capacidade produtiva brasileira está vinculado a duas questões: a redução de custos e o fortalecimento da posição energética do país. Para além da aquisição de urânio enriquecido, a INB também realiza compras de minério em sua forma natural.

Assim como ocorre no cenário de aquisição do urânio enriquecido, o cenário em relação a compra do urânio *in natura* mostra que há um grande dispêndio de

recursos, superior a casa dos milhares de dólares nos últimos anos, conforme dados públicos da INB. Temos, pois, o seguinte desenho: o Brasil tem abundantes reservas de urânio, mas devido a sua dificuldade de minerá-lo, comprou mais de 1 milhão de kg no exterior. O país também tem a capacidade de enriquecer o minério - restrita a pouco menos de 20 países do mundo, no entanto, ainda compra o urânio enriquecido como consequência da falta de estrutura para o enriquecimento em larga escala.

Esse cenário comprova a necessidade de novas práticas que estejam adequadas ao mercado internacional do urânio. Com a Lei Federal nº 14.514/2022, o Brasil pode se tornar um *player* mundial no mercado se conseguir aumentar sua capacidade produtiva e depender cada vez menos de matéria prima e mão de obra estrangeira para desenvolver sua energia nuclear.

4.3 Análise de benchmarking do urânio

Para se adequar ao cenário internacional, é necessária uma análise cuidadosa do mercado de urânio no mundo. A Lei nº 14.514/2022, que flexibilizou o mercado de urânio brasileiro, representa uma oportunidade ímpar na história da política nuclear nacional para transformar o quadro de dependência que já foi descrito aqui. A partir disso, é necessário observar com cautela o mercado de urânio internacional e a atuação das principais mineradoras do setor, conforme mostra a tabela abaixo.

Empresa	Toneladas (U)	% do total mundial
Kazatomprom	11.373	23
Cameco	5.675	12
Orano	5.519	11
CGN	4.627	10
Uranium One (Rosatom)	4.454	9
Navoi Mining	3.300	7
CNNC	3.247	7
BHP	2.813	6
ARMZ	2.508	5
General Atomics\Quasar	1.740	4
Outros	4.098	6

Total	49.935	100
-------	--------	-----

Tabela 3: Principais mineradoras de urânio no mundo
 Fonte: Relatório da World Nuclear Association (2022).

Para fins de organização documental, o estudo aqui foca nas cinco maiores mineradoras, as quais representam 64% do mercado de urânio mundial (WNA, 2022). A partir desta observação, elencamos as práticas mais adotadas e as formas de atuação a serem replicadas pela INB, considerando as especificidades do país.

Kazatomprom (KZ)

A empresa é considerada pelo governo do Cazaquistão como a “operadora nacional” de mineração de urânio no país. A atuação da Kazatomprom vai desde a fase inicial do combustível nuclear – exploração geológica, extração do urânio e produção do ciclo do combustível nuclear – até a investigação científica e desenvolvimento de tecnologias patenteadas.

O método de extração de urânio adotado pela empresa é o da lixiviação *in-situ* (ISL). Esse modelo reduz o custo de extração, diminui o rastro ambiental e melhora significativamente o desempenho em relação à saúde e segurança.

A Kazatomprom possui atuação na Bolsa de Valores de Londres, na Bolsa Internacional de Astana e na Bolsa de Valores do Cazaquistão. Os principais clientes do grupo são operadores de capacidade de geração nuclear, tendo como mercado principal a exportação para a China, Rússia Sul e Leste Asiático.

Além disso, o grupo vende o urânio de duas formas: diretamente do centro corporativo em Astana, no Cazaquistão, e por meio de uma subsidiária comercial na Suíça, a Trading House KazakAtom (THK). No último balanço financeiro, a Kazatomprom apresentou um aumento superior a 100% no lucro líquido, totalizando R\$465.292 milhões de teges (moeda local do Cazaquistão).³³

Outro ponto importante no modelo de negócios da empresa é a sua participação em fundos de investimento de urânio físico. A Kazatomprom é dona de 32,7% do fundo ANU Energy, com um aporte de 74 milhões de dólares. A previsão da empresa é aumentar sua participação no fundo com um investimento de mais de

³³ Dado do site oficial da Kazatomprom, disponível em:
https://www.kazatomprom.kz/en/investors/otchetnost_i_rezultati

500 milhões de dólares. A Kazatomprom (KZ) é uma empresa com uma capitalização de mercado de aproximadamente U\$10.433 bilhões de dólares sendo que o valor da empresa gira em torno de U\$9.40 bilhões de dólares.³⁴

Para além da participação em fundos de investimento, a empresa tem forte interação com outras companhias globais. Um desses exemplos, foi a implementação do projeto para a construção de uma fábrica destinada a produzir conjuntos de combustíveis nucleares, empreitada realizada juntamente com a Chinese General Corporation CGNPC.

Relatórios e Resultados

Principais indicadores financeiros de desempenho anuais (em milhões de Tenge do Cazaquistão)



Gráfico 11: Resultados financeiros da Kazatomprom (2021-2022)

Fonte: Relatório de Administração (2022). Disponível em:

https://www.kazatomprom.kz/en/investors/otchetnost_i_rezultati

A empresa tem uma presença global com escritórios e subsidiárias em mais de 10 países. São 14 subsidiárias só no Cazaquistão. Além disso, por estar no

³⁴ Dados disponíveis em: <https://finance.yahoo.com/quote/KAP.IL?p=KAP.IL&.tsrc=fin-srch>

Cazaquistão, ela possui uma localização estratégica para realizar negócios com países como Rússia e China.



Figura 4: Subsidiárias e escritórios ao redor do mundo da Kazatomprom
 Fonte: Relatório de Investimentos Kazatomprom (2022).

Entre 2016 e 2017 houve uma queda do volume produtivo de urânio da empresa – principalmente devido à pandemia de COVID-19. Contudo, de acordo com projeções da Kazatomprom, há a expectativa de atingir a maior produção da história do urânio até o ano de 2025.

A empresa tem mais de 450 funcionários envolvidos com atividades de pesquisa e desenvolvimento. Além disso, existe um Instituto de Altas Tecnologias (LLP) vinculado à matriz responsável pela produção científica no campo tecnológico. As tecnologias desenvolvidas nesse instituto podem ser comercializadas e se transformam em bens de propriedade intelectual da própria.

Além do desenvolvimento científico, a Kazatomprom também investe em formação de mão de obra qualificada. Por meio do programa de bolsas educacionais “Murager”, a empresa apoia estudantes de graduação em regiões onde há atuação da companhia. O programa oferece bolsas em faculdades técnicas no Cazaquistão nas áreas de produção e mineração de urânio, exploração geológica, ciclo do combustível nuclear, ciência, energia, ecologia e proteção ambiental. Apenas no ano de 2023, o “Milagre” já atingiu mais de 3.000 jovens estudantes.

Cameco (CA)

A empresa canadense tem participação em operações de mineração, refinamento, conversão e fabricação do combustível do urânio. A Cameco possui uma capitalização de mercado de U\$17.75 bilhões de dólares, enquanto o seu valor total está estimado em U\$18.48 bilhões de dólares. Sua receita total atingiu a marca de U\$2.27 bilhões de dólares³⁵. A maior parte das operações da empresa se encontra no norte de Saskatchewan, uma província canadense. Lá, está localizada a maior mina de urânio em atividade no mundo: a Cigar Lake.

Diferentemente do modelo da Kazatomprom, a Cameco utiliza hoje, na mina de Cigar Lake, uma prática de mineração subterrânea. Esse modelo é responsável pela produção de 38% do urânio mundial e se encontra em desuso, devido ao seu preço elevado se comparado à mineração ISL. De acordo com dados da World Nuclear Association de 2022, a mina de Cigar Lake, explorada pela Cameco/Orano produz anualmente, através desse método, 6928 toneladas de urânio³⁶, totalizando 14% da produção mundial.

Apesar da maior mina da Cameco ser alvo da mineração subterrânea, faz parte do modelo de negócios da empresa a utilização do modelo de mineração em ISR em suas outras áreas de atuação. Nesse sentido, a companhia tem atuação internacional em diversas minas de urânio conforme elencado abaixo.

País	Mina	Empresas Parceiras	Produção (em milhões de libras)
Canadá	Cigar Lake	Orano	4,2 ³⁷
Canadá	McArthur	-	3,3 ³⁸
Canadá	Rabbit Lake	-	203 ³⁹

³⁵ Dados disponíveis em: <https://finance.yahoo.com/quote/CCJ/key-statistics/?quccounter=1>

³⁶ Dado disponível em: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx>

³⁷ Fonte: site oficial Cameco. No primeiro semestre de 2023.

³⁸ Fonte: site oficial Cameco. No primeiro trimestre de 2023.

³⁹ Ao longo de 41 anos. Atualmente a mina encontra-se em processo de re-licenciamento aguardando deliberação final nas audiências públicas.

Estados Unidos	Smith Ranch Highland	-	23 ⁴⁰
Cazaquistão	Inkai	Kazatomprom	4,3 ⁴¹
Estados Unidos	Crow Butte	-	11,8 ⁴²

Tabela 4: Países com atuação mineradora da Cameco.
Fonte: Relatório de Administração da Cameco (2022).

A Cameco tem um modelo de negócios muito bem definido e busca, constantemente, alianças estratégicas e joint ventures com outras empresas que detêm projetos de exploração e desenvolvimento de alta qualidade. Essas alianças envolvem, geralmente, investimentos em empresas que tenham perspectivas de exploração em terras promissoras. Em troca, a Cameco obtém direitos para expandir sua propriedade e, com isso, controlar o desenvolvimento de novas descobertas. Alguns exemplos são expostos abaixo.

País	Projeto	Percentual de participação da Cameco	Vida estimada da mina (anos)	Potencial produtivo ⁴³ (toneladas)
Canadá	Cree Extension Millennium	69,9%	10	412,4
Canadá	Cigar Lake	54,4%	20	84,4
Cazaquistão	Inkai	40%	-	108,7
Austrália ⁴⁴	Yeelirrie	100% ⁴⁵	-	183
Austrália ⁴⁶	Kintyre	100%	-	517,1

Tabela 5: Percentual de participações em minerações da Cameco.

⁴⁰ Ao longo de 21 anos. Atualmente, por uma decisão da empresa, as operações cessaram em 2018.

⁴¹ No primeiro semestre de 2023.

⁴² Ao longo de 30 anos. Atualmente, por uma decisão da empresa, as operações cessaram em 2018.

⁴³ Potencial produtivo para a Cameco.

⁴⁴ Ainda entrará em operação.

⁴⁵ Adquirido da BHP Clinton.

⁴⁶ Ainda entrará em operação.

Fonte: relatório de administração Cameco (2023).

Para além da mineração de urânio, a empresa ainda atua como prestador de serviços de processamento de urânio, com a operação da maior refinaria comercial do mundo em Blind River, com 21% da capacidade mundial de produção de acordo com dados próprios da empresa.

Há alguns projetos da empresa que estão em compasso de espera por conta de uma decisão da diretoria executiva de aguardar a resolução de questões locais. Por conta disso, a empresa não fornece um número fidedigno e atualizado em relação a sua projeção das minas em funcionamento.

Entretanto, por conta de seu caráter internacional e sua força na prospecção de parcerias e novos projetos, a empresa realizou um levantamento das minas sob sua responsabilidade – ainda que seja como acionista minoritária. Segundo esses números, há um potencial superior a 50 mil toneladas de urânio a serem exploradas.

A Cameco possui 4 programas de bolsas de estudos voltados para a formação de uma mão de obra futura. Os beneficiados já têm garantido um ano de vínculo empregatício com a Cameco.



Programas	Valor (dólares)	Tempo (anos)	Áreas
Bolsa Bernard Michel ⁴⁷	5.000	2	Geologia, Geografia, Biologia, Ciência da Computação, Toxicologia, Química, Física, Ciências ambientais.
Bolsa Cameco Corporation em Engenharia	5.000	2	Engenharias: química, mecânica, geológica.
Bolsa do Norte de Saskatchewan	5.000	1	Todas as áreas, desde que o estudante seja da região.
Instituto Gabriel Dumont	-	-	Administração

Tabela 6: Bolsas de estudos da Cameco.

Fonte: Site Oficial da Cameco. Disponível em: <https://www.cameco.com/about>

Orano (FR)

A empresa francesa é uma multinacional que atua em diversas frentes do setor nuclear, tais como a mineração de urânio, o enriquecimento e conversão do mesmo, a reciclagem de combustível irradiado, logística nuclear e atividades de engenharia da área. A maior acionista da empresa, segundo o seu site oficial, é o governo francês, com 45,2% das ações⁴⁸. Ao passo de que a receita total deste último ano não está disponível, no entanto, a receita reportada é de €4,237 milhões de euros, enquanto o capital é de €132 milhões de euros. O valor de mercado da empresa é de

⁴⁷ Voltada para alunos de origem aborígene do Canadá

⁴⁸ Fonte: <https://www.orano.group/en>

€1.99 bilhão de euros⁴⁹.

O processo de exploração da Orano não é padronizado e leva em consideração as características de cada jazida como teor, profundidade, contexto ambiental e geologia. Um exemplo: enquanto que na participação da empresa na mina da Cigar Lake (Canadá) é utilizado um método de mineração hidráulica subterrânea conhecido como Jet Boring⁵⁰, na participação da mina SOMAIR (Níger) é utilizado o método de poços abertos para mineração.

A metodologia de mineração *in situ* (ISL) é utilizada somente nas minas do Cazaquistão e da Mongólia, por que o minério se encontra entre camadas impermeáveis do solo. Por conta disso, a Orano aposta em técnicas inovadoras para minas não convencionais, como o Jet Boring.

A Orano é uma empresa que, diferente das demais, tem uma atuação que extrapola a questão do urânio. O seu leque de serviços abarca, além dos processos que envolvem o urânio: (i) desmantelamento de instalação nucleares – descomissionamento; (ii) serviços de supervisão e gestão de instalações nucleares; (iii) desenvolvimento de ciência na medicina nuclear.

(I) Desmantelamento de instalações nucleares

A Orano é líder em descomissionamento de instalações nucleares com uma receita anual de 400 milhões de euros (2023). São 50 anos de atuação nesse serviço, a empresa conta com a atuação exclusiva de mais de 2.200 funcionários. Todo processo de descomissionamento é feito a partir da mão de obra e de tecnologia própria da empresa.

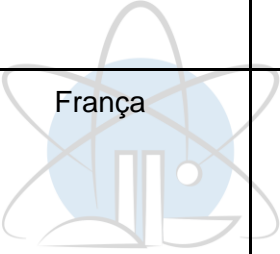

(II) Supervisão e gestão de instalações nucleares

A companhia é responsável pela manutenção de mais de 20 instalações nucleares na França. A gestão dos projetos nucleares e o acompanhamento operacional do canteiro de obras é o principal *know-how* da empresa nesse assunto. Uma das tecnologias desenvolvidas pela empresa foi a “Manuela”, um dispositivo portátil para realizar medições radiológicas e topográficas em instalações nucleares.

⁴⁹ Dados disponíveis em: https://cdn.orano.group/orano/docs/default-source/orano-doc/finance/publications-financieres-et-reglementees/2022/pr---orano-2022-annual-results.pdf?sfvrsn=d940d29f_8

⁵⁰ O método tem as seguintes etapas: (i) a terra é congelada através de um líquido; (ii) corte do minério com jato de água de alta pressão; (iii) o minério é misturado com água, coletado e bombeado para a superfície.

Além disso, a empresa também oferece o serviço de logística nuclear, com a realização de transporte global de material nuclear, como nos exemplos abaixo.

País	Sedes	Funcionários	Produção
 <p>França</p>	<p>1. Orano NPS, 2. Valognes 3. Gonesse</p>	<p>640</p>	<p>projeta e fabrica embalagens utilizadas no transporte e armazenamento de materiais nucleares, comissionamento de transporte; transporte de materiais nucleares</p>
<p>Alemanha</p>	<p>Hanau</p>	<p>75</p>	<p>projeta e fabrica embalagens utilizadas no transporte e armazenamento de materiais nucleares, comissionamento de transporte, armazenamento de resíduos</p>
 <p>EUA</p>	<p>1. Maryland 2. Greensboro 3. Fulton</p>	<p>265</p>	<p>serviços de pool top-de combustível usado e sistemas de armazenamento a seco, principalmente para o mercado dos EUA; fabrica equipamentos para armazenamento a seco de combustível usado; comissionamento de transporte, projeta e fabrica embalagens utilizadas no</p>

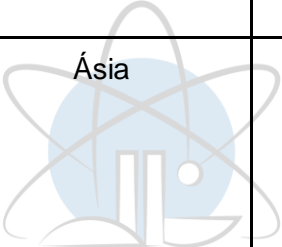
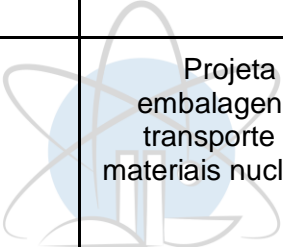
			transporte e armazenamento de materiais nucleares
 Ásia	1. Japão 2. China 3. Coreia		 Projeta embalagens e transporte de materiais nucleares
Níger			Apoia as operações da Orano Mining para transportar concentrado de urânio para plantas de enriquecimento

Tabela 7: Serviços prestados pela ORANO ao redor do mundo.
Fonte: Site Oficial (<https://www.orano.group/en>).

(III) Medicina nuclear

A subsidiária Orano Med tem desenvolvido tecnologias direcionadas a terapias paliativas de câncer utilizando o chumbo-212. Esse radioisótopo é muito raro, mas por conta da expertise da empresa em extração, é possível não somente extraí-lo, mas também purificá-lo. O Laboratório Maurice Tubiana (LMT) é o único no mundo que se dedica à produção de chumbo-212, enquanto a Unidade Doméstica de Distribuição e Purificação (DDPU) nos EUA desenvolve pesquisas para as terapias contra o câncer.

Apesar da capilaridade empresarial, boa parte da receita da Orano é oriunda das atividades minerais. São mais de 7 mil toneladas de urânio produzidas em 4 minas em 3 países diferentes, com mais de 2.900 funcionários, gerando 1.343 milhões de euros de receitas em vendas⁵¹. Além disso, a empresa encontra-se em franco planejamento de expansão com seus programas de exploração e delineamento (mapeamento de novas áreas).

⁵¹ Fonte: <https://www.orano.group/en>

Programas de exploração	Programas de delineamento
Canadá (Bacia de Athabasca)	Cazaquistão (South Tortkuduk)
Usbequistão (Navoi)	Níger (próximo às minas)

Tabela 8: Projetos Orano.
Fonte: Dados do site oficial da Orano.

Para além da mineração, o processo de enriquecimento do urânio é extremamente lucrativo para a empresa. São mais de 60 clientes ao redor do mundo que buscam a empresa para enriquecimento, bem como quase 1 bilhão de euros em receitas provenientes dessa atividade. Por conta da situação de guerra civil no Níger, os índices de projeção produtiva da empresa não podem ser considerados.

Em relação à tecnologia, a empresa não disponibiliza informações sobre políticas de bolsas, porém, faz parte do VIEs13. Com isso, jovens entre 18 e 28 anos podem trabalhar na empresa por um tempo que varia entre 6 e 24 meses com uma remuneração fixa.

China General Nuclear Power Group (CGN) (CH)

É uma empresa estatal chinesa que também atua no ramo da energia eólica, hidrelétrica e solar. A China General Nuclear Power Group (CGN) é uma empresa de grande porte no setor de energia, com uma capitalização de mercado de U\$19,30 bilhões de dólares. O valor total da empresa é estimado em U\$45,74 bilhões de dólares, com uma relação entre o valor da empresa e a receita de 4.18, indicando uma avaliação favorável, sua receita total atingiu a marca de U\$10,90 bilhões de dólares⁵².

A CGN é cercada de polêmicas, sobretudo em relação aos Estados Unidos. Em 2020 receberam uma sanção do governo americano por tentarem adquirir tecnologia nuclear avançada dos EUA com a finalidade de uso militar na China. Em 2021, a Comissão Reguladora Nuclear dos EUA suspendeu envios de materiais nucleares para a CGN por razões de segurança nacional.

⁵² Dados disponíveis em: <https://finance.yahoo.com/quote/1816.HK/key-statistics?p=1816.HK>

O processo de exploração da empresa não é padronizado e leva em consideração as características de cada jazida como teor, profundidade, contexto ambiental e geologia. Um exemplo: a mina da Husab na Namíbia, operada pela Swakop Uranium¹⁴, é via poço aberto, método mais antigo de mineração. Contudo, o potencial produtivo da empresa cresce a cada ano conforme dados da World Nuclear Association (2022).

Em relação ao modelo de negócios da empresa, há um forte movimento pró-energia nuclear na China em virtude da necessidade de diminuir a poluição atmosférica. Com isso, a atuação da CGN ganha relevância e destaque. Como a atividade nuclear chinesa é circunscrita ao planejamento estatal, a política do país é ter um ciclo fechado do combustível nuclear. A partir da atuação da CGN, o país tornou-se autossuficiente na concepção e construção de reatores, hoje contando com 55 reatores operáveis e 25 em construção.

A empresa controla todo processo desde a compra, transporte e comercialização. Além disso, abriu uma filial de vendas em Londres para a comercialização de urânio no exterior. Apesar dessa força na mineração de urânio, hoje há uma grande preocupação da CGN no investimento em reatores nucleares para abastecimento interno da China, como os casos do ACPR50S, CAP1000 e Hualong One.

No cenário internacional a maior parte das parcerias internacionais da empresa chinesa se dá por meio da *China National Nuclear Corp* (CNNC), que é, em linhas gerais, o antigo Ministério de Indústrias Nucleares do país. Com isso, as parcerias internacionais no âmbito da CGN circunscrevem-se à comercialização de urânio no exterior.

Em termos de produção energética, com seus reatores, espera-se uma capacidade produtiva de 28.6 GWe nas operações da CGN⁵³. Não obstante, conforme verificado no gráfico da CGN, há uma expectativa da companhia de manter o aumento da produção de urânio para fins internos e de exportação.

O desenvolvimento científico da estatal chinesa se dá através do Instituto de Pesquisa e Energia Nuclear de Suzhou (SNPI) e busca promover: análises de impacto ambiental, avaliação de segurança nuclear, gerenciamento de usinas nucleares e garantia de confiabilidade. Além disso, o SNPI já empreendeu mais de 40 projetos de realizações tecnológicas e ajudou a estabelecer, de acordo com

⁵³ Ver em: <https://en.cnncc.com.cn/>

dados da CGN, 139 normas industriais com 361 patentes tecnológicas.

Uranium One (Rosatom) (RU)⁵⁴

A Uranium One é um grupo de empresas de mineração, que faz parte da *holding* Tenex, uma subsidiária da companhia russa Rosatom. A entidade conta com diferentes ativos ao redor do mundo, com representação no Cazaquistão, Tanzânia, Namíbia, EUA e Canadá, sendo a quinta maior mineradora de urânio no mundo. A companhia faz uso dos modelos de mineração ISR nas minas do Cazaquistão, e ISL que será usado na exploração da Namíbia. Devido a natureza política interna da Rússia, não há dados, confiáveis, disponíveis ao público.

A empresa conta com escritórios no Canadá, Cazaquistão, Países Baixos, Rússia, Suíça e Tanzânia. Tem sua base principal de exploração no Cazaquistão, onde a empresa controla 70% da JV "SMCC" LLP, 50% da Karatau LLP, 50 % da JSC "JV Ak bastau", 49,98% JSC "JV ZARECHNOYE" e 30% de interesse na JV "Khorasan-U" LLP. O que faz com que a empresa tenha participação em várias das minas de exploração no país.

País	Empresa	Mina	Porcentagem
Kazaquistão	JV "SMCC" LLP	Akdala e South Inkai	70%
Kazaquistão	Karatau LLP	Karatau	50%
Kazaquistão	JSC "JV Akbastau"	Akbastau	50%
Kazaquistão	SC "JV "ZARECHNOYE"	ZARECHNOYE	49,98%
Kazaquistão	JV "Khorasan-U" LLP,	Kharasan	30%

⁵⁴ Não há dados disponíveis para resultados financeiros da Rosatom.

--	--	--	--

Tabela 9: Produção de urânio no Cazaquistão.
 Fonte: Relatório de Administração (2022).

Além da mineração no Cazaquistão a Uranium One conta com dois projetos em desenvolvimento na África, o primeiro na Tanzânia, o projeto Mkuju River Project, que será a primeira mina de urânio do país, e na Namíbia, onde junto a Headspring Investments (Proprietary) Limited, a companhia está conduzindo análises geológicas para preparar a exploração por meio *situ leaching* (ISL).

Além da extração de urânio, a companhia tem diversificado seus empreendimentos com a adição da mineração do Lithium, em 2021 assinou acordos com os governos da Argentina e Bolívia.

Hoje a Uranium One é a quinta maior produtora de urânio no mundo, contando com uma produção anual de 4454 toneladas no último ano. A projeção é que as duas novas minas na África acrescentem 4700 toneladas, sendo 3200 vindas da Mkuju River na Tanzânia, e 1500 de Wings na Namíbia, dobrando assim a produção da empresa.

4.4 Apontamentos para a INB

- Parcerias com outras mineradoras

É uma prática comum no mercado internacional a parceria entre mineradoras no campo da extração de urânio bem como desenvolvimento de tecnologia. Um dos passos necessários para que a INB se associe com mais robustez a esse mercado internacional é, justamente, realizar parcerias com outras mineradoras. Atualmente, a INB possui relação com empresas estrangeiras do setor nuclear, tais como a Westinghouse e a KNF, contudo, essas parcerias não são no campo da extração⁵⁵.

Ao observar o modelo do Consórcio de Santa Quitéria, é possível replicá-lo a nível de cooperação internacional também com mineradoras. O projeto Rio

⁵⁵ Em relação a Westinghouse, a INB realiza serviços de engenharias contratados pela empresa estadunidense, bem como compra de varetas para montagem de combustível nuclear e abastecimento de Angra I. No que diz respeito a KNF, também ocorre a compra de varetas para abastecimento de Angra II.

Cristalino (PA), por exemplo, tem um potencial estimado de 150 mil toneladas, segundo dados da COPPE da UFRJ⁵⁶. Contudo, exige recursos financeiros em estudos e tecnologia da extração.

A INB pode, a partir da possibilidade legal oferecida pela Lei nº 14.514/2022, que promove a flexibilização do mercado de urânio no Brasil, sugerir parcerias com mineradoras internacionais em que uma parte do produto pode ser comercializado pelo parceiro, em troca do oferecimento de tecnologia de ponta e monopólio de extração da INB. Outro exemplo é o projeto Figueira, no Paraná. Com uma estimativa próxima de 8.000 toneladas (NEA; OECD, 2023), o modelo de parcerias internacionais também pode ser aprimorado nos moldes do Rio Cristalino.

A construção de parcerias internacionais é um ponto crucial para o desenvolvimento do trabalho de mineração e desenvolvimento tecnológico da empresa. O mercado de urânio no Brasil esteve fechado para o mundo durante anos e, desde o fim do ano passado, tem uma oportunidade única de construir um novo relacionamento com esses atores internacionais.

- **Desenvolvimento tecnológico**

Apesar de ter uma grande reserva de urânio, o Brasil é totalmente dependente da tecnologia estrangeira quando se discute a operacionalização de suas usinas, bem como a temática do elemento combustível. Boa parte dos elementos da montagem do combustível nuclear não possui origem nacional, necessitando de importação por parte da INB. Nesse sentido, o desenvolvimento de tecnologias nacionais para esse tipo de ação é crucial para a autonomia do país.

- **Desenvolvimento científico**

Como foi demonstrado no documento, as mineradoras internacionais investem em formação de mão de obra através da oferta de bolsas de pesquisa para estudantes. Atualmente, a INB não tem uma política estabelecida em relação a esse tipo de incentivo, apesar de ser uma demanda antiga dos acadêmicos da energia nuclear brasileira.

⁵⁶ Relatório de consumo interno.

Atualmente, de acordo com dados do Ministério da Educação de 2022, o Brasil forma anualmente pouco menos de 200 engenheiros nucleares. Apesar do número de vagas ser maior que esses formados, muitos alunos desistem do curso por conta da indisponibilidade financeira. A disponibilização de bolsas por meio de um programa de parcerias via FINEP, como a Agência Nacional do Petróleo⁵⁷ realiza, é um caminho interessante e garante o futuro da INB para o Brasil.

- Participação efetiva no mercado acionário

A participação da INB na bolsa de valores é algo a ser vislumbrado no horizonte e uma ação de longo prazo. Após ter saído do orçamento da União no final de 2022, é necessário dar um passo à frente e integrar-se com o mercado internacional. Todas as grandes mineradoras fazem parte de bolsas de valores e isso permite uma série de ações, sendo a principal delas a participação em fundos de investimento.

Fundos de investimento em urânio e outros ativos são um potencial mercado para a INB. Como a Kazatomprom, que possui investimentos em fundos de urânio e energia, a INB pode tomar isso como um norte desejável a ser seguido a longo prazo. Evidentemente, para que esse passo seja dado é necessário um estudo de viabilidade acionária e financeira para tal.

Outro elemento fundamental que contempla essa participação efetiva no mercado é a instalação de subsidiárias. Apesar da INB ser uma subsidiária da ENBPar, as mineradoras internacionais como a Rosatom⁵⁸ e a Kazatomprom⁵⁹ utilizam-se dessas estruturas de subsidiárias para expandir sua atuação a nível internacional.

⁵⁷ O Programa de Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP) é uma ferramenta que oferece 880 bolsas por ano, com um orçamento quinzenal na ordem de 220 milhões de reais e forma mão de obra para atuar no setor privado e público na cadeia do petróleo.

⁵⁸ Por meio da Uranium One.

⁵⁹ Por meio da Trading House Kazak-Atom.

5. Regulação e Licenciamento

5.1. Regulação

A atividade nuclear no Brasil remonta à Constituição Federal de 1988. Nela, está definido pelo artigo 21º, inciso XXIII, como sendo competência exclusiva da União:

“XXIII - explorar os serviços e instalações nucleares de qualquer natureza e exercer monopólio estatal sobre a pesquisa, a lavra, o enriquecimento e reprocessamento, a industrialização e o comércio de minérios nucleares e seus derivados, atendidos os seguintes princípios e condições:

- a) toda atividade nuclear em território nacional somente será admitida para fins pacíficos e mediante aprovação do Congresso Nacional;
- b) sob regime de permissão, são autorizadas a comercialização e a utilização de radioisótopos para pesquisa e uso agrícolas e industriais; (Redação dada pela Emenda Constitucional nº 118, de 2022)
- c) sob regime de permissão, são autorizadas a produção, a comercialização e a utilização de radioisótopos para pesquisa e uso médicos; (Redação dada pela Emenda Constitucional nº 118, de 2022)
- d) a responsabilidade civil por danos nucleares independe da existência de culpa; (Incluída pela Emenda Constitucional nº 49, de 2006)” (Brasil, 1988)

A respeito do desenvolvimento do setor nuclear para além dos objetivos acima elencados, o Brasil é, desde a década de 1990, signatário do Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares, que determina o uso pacífico da tecnologia nuclear.

No que concerne ao marco regulatório, a CNEN foi o primeiro órgão responsável por fiscalizar e regulamentar o setor nuclear no Brasil, sendo criada em 1956. A responsabilidade regulatória da Comissão tem previsão de ser transferida para a recém-criada Autoridade Nacional de Energia Nuclear (ANSN). Para isso, a nova Autoridade será contemplada com servidores da Comissão, que serão redistribuídos, conforme determinado no art. 26 da Lei nº 14.222. Essa mudança é fruto de um processo de cisão dentro da CNEN que passará a exercer apenas atividades de pesquisa, desenvolvimento e de organização. É importante ressaltar que a ANSN é responsável pela regulamentação e fiscalização das plantas nucleares em terra, mas a Lei nº 14.222, em seu artigo 7º, atribui privativamente ao Comando da Marinha a responsabilidade de regular, licenciar, fiscalizar e controlar plantas nucleares que estejam embarcadas.

A separação é determinada pela Lei nº 14.222/21 que esclarece as distinções das competências entre a CNEN e a ANSN, tornando claras as responsabilidades serão transferidas da Comissão para a Autoridade, na ocasião em que esta entre em funcionamento pleno. Essa delimitação das funções de cada entidade é vital para o bom funcionamento da regulação e fiscalização da energia nuclear no Brasil.

Apesar da existência da CNEN e da criação da ANSN, parte da função de licenciamento e autorização de minerais nucleares ainda é regida pela Agência Nacional de Mineração (ANM), que tem papel de destaque no setor. Além da ANM, há também a atuação do Ministério de Minas e Energia (MME), que é responsável pela condução de políticas energéticas e de mineração no país.

No âmbito da exploração e mineração de urânio, como exposto anteriormente, compete à INB “a pesquisa, a lavra e a comercialização de minérios nucleares, de seus concentrados e derivados, e de materiais nucleares, e sobre a atividade de mineração”, de acordo com a lei 14.514/22.

Ainda em prosseguimento na evolução setorial, em 2022, foi criada uma empresa pública que conta com capital fechado, a Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar), que tem controle sobre a Eletronuclear e a INB. Essa empresa pública é controlada pela União, através do Ministério de Minas e Energia e foi instituída com o objetivo de viabilizar a privatização da Eletrobras, assumindo desta as competências que não poderiam ser privatizadas.

Com a incorporação da INB pela ENBPar, definida pelo Decreto nº 11.235/2022, foi conferida à INB um maior grau de autonomia orçamentária e financeira, bem como mais flexibilidade para estabelecer parcerias com a iniciativa privada, em razão das possibilidades previstas na nova legislação.

5.2. Licenciamento

Para o licenciamento de minas de urânio é necessária a realização do Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental (EIA/RIMA) para averiguar os possíveis impactos ambientais que os empreendimentos exploradores possam causar. Com a aprovação desse estudo realiza-se a submissão de relatório sobre impactos ambientais ao órgão ambiental responsável, bem como requisição de licença nuclear à CNEN, mediante relatório de análise de segurança nuclear.

O licenciamento de minas é feito de acordo com a Lei complementar 140/2011 artigo 7º, inciso XIV, alínea g, que determina como competência da União, através do IBAMA (especificamente através do Dilic)⁶⁰:

pesquisar, lavrar, produzir, beneficiar, transportar, armazenar e dispor material radioativo, em qualquer estágio, ou que utilizem energia nuclear em qualquer de suas formas e aplicações, mediante parecer da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen). (Brasil, 2011)

Ao analisarmos o caminho percorrido para que seja possível implementar a exploração do urânio brasileiro, é de caráter urgente que a ANSN entre em atividade sem detença, tendo em vista o quão disperso é o processo de licenciamento e autorização devido ao número de órgãos a serem consultados. Concomitante a Lei 14.222/22 o Decreto 11.142 estrutura a ANSN e suas atribuições.

5.3 Agência Reguladora

O debate sobre o desmembramento da CNEN e a instituição de uma Autoridade reguladora do setor nuclear remonta à década de 1990. No entanto, a Comissão segue responsável pela pesquisa e desenvolvimento tecnológico nuclear, bem como outras atividades⁶¹, mesmo após a aprovação da lei que cria a ANSN.

O propósito é de concentrar os atos regulatórios e regulamentares do setor na ANSN, bem como delimitar as competências entre esta instituição e a INB e a CNEN.

5.4 Aprimoramento do marco regulatório: Lei 14.514/22 e suas Aplicações

Em texto submetido à Presidência da República em agosto de 2022, os ex-ministros de Minas e Energia e da Economia, respectivamente, Adolfo Sachsida e Paulo Guedes, apresentaram a Medida Provisória nº 1.133/22, com o intuito de promover uma renovação do arcabouço legal que rege as competências da INB.

Neste documento foi pontuado que a INB detém o monopólio nuclear no país, abrangendo todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, desde a mineração até a produção de combustível para as usinas nucleares brasileiras, caracterizando as responsabilidades da INB como cruciais para o setor nuclear nacional.

⁶⁰ A Diretoria de Licenciamento Ambiental do IBAMA, uma ramificação dela é a Coordenação de Licenciamento Ambiental de Energia Nuclear, Térmica, Eólica e de outras Fontes Alternativas (Cenef)

⁶¹ Vide art. 2º da Lei nº 6.819/1974.

Os ministros expressam que a principal questão enfrentada pela INB reside na limitação dos recursos disponíveis para a condução de atividades como a mineração e as demais fases do processo em uma escala que permita a autossuficiência ao Brasil. Esta limitação de recursos não apenas afeta a capacidade da INB de atender integralmente às demandas internas, mas também restringe sua capacidade de explorar o potencial de inovação e desenvolvimento tecnológico em seu todo. Dessa forma, afeta também a capacidade de exportar o excedente de combustível nuclear, que é um produto altamente tecnológico e de alto valor agregado.

A falta de investimentos suficientes que viabilizem a mineração de urânio e o beneficiamento subsequente, por exemplo, representam um obstáculo significativo enfrentado na busca por alcance da autonomia plena na produção de combustível nuclear. No entanto, foi argumentado que a restrição de recursos e a alta dos preços do urânio no mercado global representam desafios que a MPV 1133/2022 pode transformar em oportunidades.

Ao promover parcerias com a iniciativa privada na pesquisa e extração de minérios nucleares, a INB poderia obter os recursos necessários e viabilizar novos projetos, isso permitiria à INB expandir suas operações. A proposta da Medida Provisória traz inovações ao quadro legal atual, uma vez que é necessário alterar a legislação vigente, datada da década de 60 e 70, uma vez que afirma que o atual arcabouço legal é o maior provedor de entraves da atuação e desenvolvimento da INB.

Com esse movimento de renovação normativa será possível estabelecer formas de remuneração para parcerias com empresas privadas, com o objetivo de tornar essas colaborações mais atrativas. Além disso, a renovação atualiza as definições do setor à luz dos avanços na mineração e define os limites para a participação de entidades parceiras do setor privado nas fases de extração e processamento do minério nuclear.

A possibilidade de estabelecer tais parcerias com o setor privado é uma necessidade estratégica e representa uma solução promissora em nosso horizonte. Uma vez que sejam instituídas essas colaborações, a INB poderá alavancar os

recursos e a expertise necessários, logrando impulsionar a produção, explorar novas tecnologias e alcançar os níveis de eficiência almejados⁶².

Tal medida provisória foi convertida na lei 14.514/22 que estipula os objetivos e competências da INB e abre espaço para a cooperação com outras empresas do setor privado na exploração de urânio em suas várias etapas.

De acordo com o artigo 3º, a lei determina como objeto da INB a pesquisa, extração e comércio de minérios nucleares e seus derivados, bem como o desenvolvimento de tecnologias para seu aproveitamento. Cabe a ela também a construção e operação de instalações para o processamento e beneficiamento desses minérios, operando o enriquecimento do urânio e o ciclo do combustível. Compete à empresa negociar e comercializar produtos e serviços no mercado nacional e internacional. Em suma, é de sua responsabilidade o gerenciamento do uso estratégico dos recursos de minério nuclear e dispondo da possibilidade de ofertar serviços para entidades públicas ou privadas, tanto no Brasil quanto no exterior.

O artigo 4º da lei 14.514/22 rege a execução dos objetos referenciados no artigo 3º. Assim fica outorgado a INB a permissão para estabelecer contratos com entidades jurídicas, dispondo das possibilidades de remuneração das mesmas.

Art. 4º Para a execução das atividades a que se refere o art. 3º desta Lei, a INB poderá firmar contratos com pessoas jurídicas e remunerá-las por meio de:

- I - pagamento de valor em moeda corrente por aquisições de bens e serviços;
- II - direito a percentual do valor arrecadado na comercialização do produto da lavra, conforme definido em contrato;
- III - direito de comercialização do minério associado;
- IV - direito de compra do produto da lavra com exportação previamente autorizada, conforme definido em contrato e regulamento; ou
- V - outras formas estabelecidas entre as partes em contrato.

As alterações promovidas pela lei na atuação da INB abriram espaço para o estabelecimento de parcerias com entidades privadas que devem seguir o modelo de construção de subsidiárias, nas quais a INB deve ser o parceiro majoritário, tendo, ao menos, 51% das ações. Essas parcerias compreendem a exploração de minas e a transferência de tecnologia, estando excluído o processo de produção de combustível

⁶² Conferir a Medida Provisória disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento?dm=9219807&disposition=inline>

nuclear que permanece uma atividade exclusiva da INB, bem como a construção e operação de reatores nucleares, atividade reservada à NUCLEP, à AMAZUL e à ELETRONUCLEAR.



6. Apontamentos

O Brasil conta hoje com o domínio tecnológico e de recursos para ser destaque internacional no setor nuclear. A capacidade de nosso país na esfera nuclear o colocaria em uma posição de liderança no processo de descarbonização e transição energética através do uso de energia nuclear. A energia nuclear oferece diversos benefícios, por ser uma fonte de energia limpa, com baixa emissão de CO², e confiável, ela ocupa a posição de garantir segurança energética ao país.

Considerando o nosso potencial de produção e exportação de urânio, o Brasil pode liderar a cadeia de produção do combustível utilizado como fonte para o fornecimento de energia nuclear. Para além dos aspectos de desenvolvimento nacional e da economia, devemos considerar a privilegiada posição geopolítica que ocuparemos, uma vez que seja desenvolvido essa atividade.

Uma das principais dificuldades enfrentadas hoje pela nossa nação, no que diz respeito a esse tema, seria a falta de regulamentação da atividade e a abertura do setor a parcerias, tanto com empresas nacionais, quanto com internacionais. Avançamos muito com a lei 14.514/22, porém carecemos da institucionalização de agências reguladoras como a ANSN e órgãos de operação. Através da renovação de nossa estrutura regulatória, será possível encorajar o investimento econômico e tecnológico no setor, que gerará modernização, inovação e crescimento.

Com esse relatório esperamos incentivar o diálogo com o congresso, bem como com a sociedade civil e todas as partes interessadas, em função do avanço do nosso setor nuclear, como um todo, expandindo-o nacionalmente e internacionalmente. A seguir apresentamos 20 propostas com o potencial de aprimorar o setor nuclear brasileiro:

1. Propugnar a INB: Para fortalecer sua atuação no setor, as medidas sugeridas em relação a INB são:

- Parcerias com mineradoras internacionais, com o intuito de ampliar o potencial minerador da INB. Posto isso, será possível atender às futuras demandas internas, incluindo os projetos Angra 1, 2 e, posteriormente, Angra 3, bem como explorar oportunidades de exportação.

- Parcerias empresariais minoritárias (joint-ventures) com empresas privadas que possibilitem uma transferência de tecnologia e conhecimento.
- Expansão de sua infraestrutura de enriquecimento isotópico, juntamente com a Marinha do Brasil, para sustentar a crescente atividade de mineração de urânio.
- Criação de uma Usina de Conversão de Urânio em escala industrial em Resende para que possa ser realizada toda operação do ciclo do combustível em território nacional.
- IPO na Bolsa de Valores, de modo a consolidar sua posição no mercado financeiro futuro.
- Revisão do plano de negócios, alinhando-o ao modelo adotado pelas grandes mineradoras internacionais, com o objetivo de assegurar a competitividade e sustentabilidade da empresa no longo prazo sob a luz da Lei Federal nº 14.514/22.
- Elaboração de um plano de comunicação institucional da INB para que a empresa possa comunicar com mais assertividade suas atividades bem como os benefícios da área nuclear para o Brasil.

2. Permanência do veto do artigo 10 da Lei Federal nº 14.514/22: o projeto submete as exportações de minério nuclear à autorização do Ministério de Minas e Energia. Essa necessidade de autorização representaria uma queda na atratividade do setor para parceiros privados que, por conta da burocracia para exportação, não apresentariam interesse em participar de negócios no âmbito do minério nuclear. O veto ainda será apreciado no Congresso Nacional.

3. Elaboração de contratos de securitização e venda futura de urânio: Como a INB ainda não possui capacidade de exploração de urânio em larga escala, uma alternativa para que o Brasil aproveite a alta do valor do urânio é negociar parte da reserva de Santa Quitéria (CE) e demais minas como uma commodity, estabelecendo um valor pré-fixado e um prazo de extração determinado com países estrangeiros. A partir disso, o cronograma de desembolso desses contratos seria realizado anteriormente à entrega do mineral e esse valor

poderia ser utilizado para o financiamento de programas nucleares importantes para o país.

- 4. Conclusão de Angra 3:** Tão importante quanto o aumento do tempo de vida útil da usina de Angra 1 é a conclusão das obras da usina de Angra 3. Dados do Governo Federal mostram que a cada mês de obra parada são gastos mais de 3 milhões de reais na usina - para que o maquinário não se deteriore. Além do claro desperdício de recursos públicos, a conclusão da obra permitirá uma maior autonomia energética para o Brasil com uma produção de 1.405 MW (segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética) - valor próximo daquele produzido por Angra 1 e Angra 2 somadas.

- 5. Revisão do futuro custo de energia de Angra 3:** projeções do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) indicam que o custo do MW da usina de Angra 3 deve ser de R\$ 726 reais, tornando a energia lá produzida a mais cara do Brasil. Contudo, esse valor exorbitante considera o custo da ineficiência do Estado brasileiro que mantém a obra parada por tantos anos. Com isso, é fundamental que o Ministério de Minas e Energia - MME - juntamente com o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), utilizem como métrica o custo médio do MWh no exterior para que possa ter um valor de referência condizente com o mercado de energia.

- 6. Suporte financeiro para as pesquisas e conclusão do LABGENE:** com a conclusão do protótipo do submarino de propulsão nuclear, o Brasil estará em um seleto grupo de países que possuem esse instrumento como mecanismo de defesa das águas nacionais. O LABGENE é uma prioridade do ponto de vista da defesa do território e, além disso, também pode ser considerado como uma espécie de “primeiro” SMR do país. Portanto, sua conclusão no menor tempo possível é fundamental para o desenvolvimento da área nuclear e para a defesa do país e deve ter o financiamento e apoio do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTIC.

7. Realização de novo mapeamento das jazidas de urânio no Brasil: apesar de ter a sexta maior reserva de urânio do mundo, o Brasil não tem atualizado a relação de reservas de urânio em território nacional. Por conta disso, é imperativo que o Serviço Geológico do Brasil - SGB realize uma nova pesquisa de prospecção de urânio no território brasileiro, pois isso é condição primária para estruturar estratégias de negócios e de mineração. Neste sentido, já está protocolado na Mesa Diretora da Câmara dos Deputados uma PEC que contempla a liberação para a iniciativa privada da pesquisa e prospecção de minas de urânio no Brasil.

8. Conclusão da Unidade Piloto de Hexafluoreto de Urânio (USEXA): apesar do Brasil dominar todo ciclo do combustível nuclear, em termos de tecnologia, o país ainda não consegue realizar todas essas etapas a nível industrial, por isso, a fase da conversão é feita na Europa via licitações realizadas pela INB. O projeto de finalização da USEXA é justamente a oportunidade que o Brasil tem para dominar a nível industrial todo o ciclo do combustível. A Unidade Piloto de Hexafluoreto de Urânio (USEXA) representa a capacidade da INB realizar a conversão de parte do urânio em território nacional, garantindo a soberania e o domínio da tecnologia para o nosso país. De acordo com dados da Marinha do Brasil e da AMAZUL, o valor necessário para finalizar a USEXA é na ordem de R\$ 120.000.000,00 (cento e vinte milhões de reais) e pode ser obtido através do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - FNDCT do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. O esforço para a conclusão deste projeto será uma de nossas principais pautas.

9. Conclusão do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB): É razoável argumentar que o RMB deve ser uma prioridade na agenda de desenvolvimento científico do Brasil. A conclusão desse reator promoverá a independência do Brasil no campo dos radioisótopos, que são os elementos necessários para a produção de radiofármacos que tratam de diversas doenças como o câncer. Ou seja, a conclusão do RMB é imperativo, pois se trata de um potencial desenvolvimento para a saúde pública da sociedade

brasileira. É prioridade deste projeto viabilizar o financiamento para a sua conclusão.

10. Fortalecimento da AMAZUL: Como empresa estatal dependente, a AMAZUL se encontra dentro do orçamento da união. A permanência no orçamento da união traz para a AMAZUL uma certa imprevisibilidade no que diz respeito à produção de políticas internas de longo prazo, justamente por conta da incerteza de recursos futuros. Nesse sentido, o maior repasse de recursos a AMAZUL por parte do governo federal seria uma forma de reforçar o papel estratégico da empresa no Plano Nuclear Brasileiro como um todo. É necessário um movimento de busca para torná-la menos dependente da União, tendo como horizonte a AMAZUL como empresa autônoma.

11. Valorização das empresas nacionais: O Brasil tem um conjunto de empresas - sejam elas estatais ou com participação acionária da união - no setor nuclear. Entretanto, em muitas licitações para prestação de serviços de engenharia nuclear ou até mesmo na aquisição de bens empresas estrangeiras não somente participam como também vencem esses certames. É preciso criar uma legislação, dentro da área nuclear, que forneça uma preferência para as empresas nacionais na prestação de serviços e aquisições neste setor. Essa preferência, entretanto, deve respeitar o princípio da economicidade e da isonomia na administração pública.

12. Cumprimento do Plano Nacional de Energia (2050): É preciso pensar na Energia Nuclear para além das instalações de Angra dos Reis. O aumento do tempo de vida útil de Angra 1 associado a conclusão de Angra 3 precisam ser compreendidos como etapas de um projeto muito maior. O Plano Nacional de Energia (2050) estabelece como uma diretriz do Estado brasileiro a construção de mais 8 usinas nucleares em território nacional. O PNE não foi fruto de uma política de determinado governo, mas sim oriundo de um amplo debate social e de uma política do Estado brasileiro. Por isso, é preciso que suas tarefas sejam retomadas como um norte de política estratégica no campo da energia nuclear.

13. Política nacional de construção de SMR's: O modelo de desenvolvimento de tecnologia nuclear no mundo se transformou a partir dos SMR's. Usinas de grande porte com grandes estruturas de comissionamento não são mais o modelo mais adotado em boa parte do mundo. Nesse sentido, os SMR's surgem como uma excelente forma de desenvolvimento da energia nuclear e, além disso, ocupam um espaço reduzido com uma boa capacidade de geração de energia. Nesse sentido, é fundamental que o Ministério de Minas e Energia - MME, estabeleça um planejamento estratégico de construção de SMR's no Brasil com devido desembolso de recursos e com organização estratégica.

14. Fortalecimento da NUCLEP: Ao considerar a reformulação da política nuclear brasileira, é fundamental observar o papel da NUCLEP por conta da sua expertise no campo de produção de materiais pesados para esse setor. A NUCLEP fabricou, ao longo de sua história, os Condensadores Acumuladores e racks supercompactos para Angra 2, Geradores de Vapor substitutos para Angra 1, Pressurizador, Condensadores e Acumuladores para Angra 3. Nesse sentido, com o cumprimento do Plano Nacional de Energia de 2050 (PNE - 2050) e a conclusão das obras de Angra 3, é necessário um movimento de busca para torná-la menos dependente da União, tendo como horizonte a NUCLEP como empresa autônoma.

15. Programa de substituição de importações: O Brasil hoje tem duas relevantes dependências referentes ao setor nuclear: a importação de radioisótopos, utilizados na medicina; e a realização da etapa de conversão em UF6 do ciclo do Urânio que é realizada fora do país. Esses dois fatores são alarmantes, dada a capacidade tecnológica brasileira de operação do ciclo do urânio e nossas reservas minerais. A atuação da indústria nacional na produção de materiais radioativos, realizada na USEXA, terá forte impacto na economia, ao promover a diminuição da importação de insumos. Nesse sentido, é necessário um programa que substitua tais importações, tornando o Brasil autônomo na produção de insumos nucleares.

16. Unificação da base de dados: Tendo em vista a enorme dissonância entre os dados disponíveis sobre o setor nuclear, é necessário um acordo entre entidades para a construção de uma base de dados comum. Esse é um importante movimento, uma vez que garante o acesso a informação segura e verídica, facilitando a realização de estudos e análises do setor. A desatualização de muitos dados, devido a falta de pesquisa, impõe um grande obstáculo àqueles que buscam realizar análises de prospecção do setor. Portanto, é preciso que o Ministério de Minas e Energia - MME construa um repositório de dados e que a coleta destes siga a mesma métrica de análise.

17. Garantir a instalação e funcionamento da Autoridade Nacional de Segurança Nuclear (ANSN): Apesar da Autoridade Nacional de Segurança Nuclear ter sido instituída e regulamentada pela Lei 14.222/21, infelizmente ainda não ocorreu de fato a realização dos objetivos caracterizados na lei. É de suma importância que ocorra o desmembramento da CNEN, sendo essa responsável por transferir parte de suas funções regulatórias à nova Autoridade. Na prática isso promoverá a simplificação do processo regulatório, uma vez que a ANSN tenha uma maior autonomia para gerir os processos legais e garantir a segurança das atividades relacionadas ao setor nuclear no Brasil.

18. Criação de uma política nacional de comunicação da área nuclear: Em um cenário internacional, onde países são responsáveis por desestabilizar governos em prol de interesses geopolíticos, é necessário que a população esteja educada sobre as atividades nucleares no Brasil. É vital coibir a desinformação que impede o desenvolvimento do setor. Infelizmente, ainda há em boa parte da sociedade brasileira uma resistência em relação à Energia Nuclear. Contudo, é possível credenciar essa situação adversa por conta da falta de comunicação oficial e de divulgação por parte do Governo Federal dos benefícios da área nuclear, que vão da geração de energia até a conservação de alimentos e produção de radiofármacos. Por conta disso, a Secretaria de Comunicação Social do Governo Federal deve elaborar um planejamento estratégico de comunicação da área nuclear para a sociedade brasileira.

19. Criação de um programa de fomento à formação de profissionais - PRH:

O investimento em profissionais gabaritados na área nuclear é condição básica para o desenvolvimento do setor. Não há como ter inovação bem como a operacionalização de tecnologias se existirem profissionais capazes de refletir e operar esse desenvolvimento. A ideia da criação de um Programa de Recursos Humanos (PRH) da Energia Nuclear, semelhante ao que a Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) realiza juntamente com a Agência Nacional do Petróleo (ANP), auxiliaria na formação de mais estudantes na área da engenharia nuclear nas universidades com o subsídio de bolsas a esses jovens por meio da própria FINEP.

20. Incentivo a pesquisa para aplicações na medicina e agricultura:

Para além da produção de energia, a área nuclear cumpre papéis cruciais no campo da agricultura e da medicina. No primeiro, por exemplo, diversos alimentos têm um significativo aumento de sua durabilidade a partir do processo de ionização. O arroz, por exemplo, pode chegar a 3 anos de durabilidade com a ionização, segundo dados da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Já no campo da medicina, o impacto é igualmente surpreendente. Somente o RMB tem o potencial de produzir radioisótopos para mais de 30 radiofármacos diferentes, gerando uma economia de 15 milhões de reais com custos de importação. Com isso, o investimento em pesquisas que mostram a potencialidade da área nuclear para além da energia são fundamentais para o desenvolvimento do setor.



Referências:

- Andrade, R. B. (2005) “Análise Econômico Financeira do empreendimento “Usina Nuclear Angra 3”. **International Nuclear Atlantic Conference 2005.**
- Barros, P. S.; Pereira, A. P. M. (2010). “O Programa Nuclear Brasileiro”. **Boletim de Economia e Política Internacional**, n. 3, pp: 71-78.
- Brasil (1974). **Lei nº 6.198 de 26 de Dezembro de 1974.**
- _____. (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil.**
- _____. (1997) **Lei nº 9.478 de 6 de agosto de 1997.**
- _____. (2011a) **Lei nº 14.490 de 19 de Setembro de 2011.**
- _____. (2011b) **Lei complementar nº 140 de 8 de dezembro de 2011.**
- _____. (2018) **Decreto nº 9.600 de 5 de dezembro de 2018.**
- _____. (2020) **Programa Nacional de Energia - 2050.**
- _____. (2021) **Lei nº 14.222 de 15 de outubro de 2021.**
- _____. (2022a) Conselho de Monitoramento e Avaliação de Políticas Públicas - **Relatório de Avaliação: Política Nuclear.**
- _____. (2022b) **Lei nº14.514 de 29 de dezembro de 2022.**
- _____. (2022c) **Decreto nº 11.235 de 13 de outubro de 2022.**
- _____. (2023). **Programa de Aceleração do Crescimento.**
- Boute, Anatole (2022). “Weaponizing Energy: Energy, Trade, and Investment Law in the New Geopolitical Reality”, **The American Journal of International Law**. Vol. 116, n. 4, pp:7 40-751.
- Cameco (2023). **Annual Report - 2022.**
- Euratom Supply Agency (2022). **Annual Report 2022.**
- European Commission (2022). **Press Release - REPowerEU: A plan to rapidly reduce dependence on Russian fossil fuels and fast forward the green transition.**
- _____. (2023). **Quarterly report on European Gas Markets.**
- European Parliament (2022). **The COP27 Climate Change Conference.**
- EPE; IEA; IABR (2022) **Atlas da Eficiência energética - Brasil**
- Indústrias Nucleares do Brasil; Galvani (2023). **Construir o futuro - Projeto Santa Quitéria.**

Hanna, S. A. et al. (2022) 'Lessons from the Brazilian radiotherapy expansion plan: A project database study'. **The Lancet Regional Health - Americas** 14, 100333.

International Energy Agency (2023). **Net Zero Roadmap A Global Pathway to Keep the 1.5 °C Goal in Reach.**

_____. (2023). **Nuclear Power Reactors in the World**, nº2, 2023 Edition.

_____. (2022). **World Energy Outlook 2022**

_____. (2022) **Nuclear Power and Secure Energy Transitions From today's challenges to tomorrow's clean energy systems**

International Panel on Climate Change (2023). **Climate Change 2023 Synthesis Report.**

Kamioji, M.I.; Santos Filho, G.M. (2019). "Origins and evolution of the nuclear program in Brazil – The alliance between scientists and militaries for the institutionalization of Science & Technology towards industrialization". **Revista Tecnologia Sociedade**, Curitiba, v. 15, n. 37, pp. 104-136.

Kneip, F. C. (2021). "**Estudo de viabilidade do programa nacional de energia nuclear em relação às termelétricas fósseis dentro do sistema termelétrico brasileiro.**" Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear) - Departamento de Engenharia Nuclear, Universidade Federal de Minas Gerais. pp. 102.

Langbein, T.; Weber, W. A.; Eiber, M. (2019) Future of theranostics: An outlook on precision oncology in nuclear medicine. **Journal of Nuclear Medicine** 60, pp. 13-19.

Nuclear Energy Agency; Organisation for Economic Co-operation and Development (2023). **CSNI Technical Opinion Paper No. 21 - Research Recommendations to Support the Safe Deployment of Small Modular Reactors.**

Nord Stream (2016). **Report on Nord Stream**

Nuclear Energy Agency; International Atomic Energy Agency (2023). **Uranium 2022: Resources, Production and Demand.**

Operador Nacional do Sistema Elétrico (2023). **Relatório Anual 2022.**

Patti, Carlo (2014). **O programa nuclear brasileiro: uma história oral.**

Ribeiro, R.; Carlos, K.; Appoloni, R. (2002). "Uma breve história da política nuclear brasileira". **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 19, pp. 379–392.

Sociedade Brasileira de Radioterapia (2023). **Situação da Radioterapia no Brasil.** Comissão de Saúde da Câmara dos Deputados.

Serviço Geológico do Brasil (2023). **Urânio - Aspectos Gerais**

World Nuclear Association (2023). **The Nuclear Fuel Report Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2023-2040.**

Colaboradores da proposta do novo Plano Nuclear Brasileiro:

Frente Parlamentar Mista de Tecnologia e Atividades Nucleares

Presidente: Julio Lopes

Vice-Presidentes: Aureo Ribeiro; Lindbergh Farias; Luiz Fernando Faria; Veneziano Vital do Rêgo.

Deputados: Abilio Brunini; Acácio Favacho; Adail Filho; Adriana Ventura; Adriano do Baldy; Afonso Hamm; Afonso Motta; Aguinaldo Ribeiro; Alberto Fraga; Albuquerque; Alceu Moreira; Alexandre Leite; Alexandre Lindenmeyer; Amália Barros; Amanda Gentil; Amom Mandel; Andreia Siqueira; Antônia Lúcia; Antonio Brito; Antonio Carlos Rodrigues; Any Ortiz; Arnaldo Jardim; Arthur Oliveira Maia; Augusto Coutinho; Bacelar; Bandeira de Mello; Benedita da Silva; Beto Richa; Bia Kicis; Bibo Nunes; Cabo Gilberto Silva; Camila Jara; Capitão Augusto; Carlos Henrique Gaguim; Carlos Zarattini; Celso Russomanno; Cezinha de Madureira; Cleber Verde; Coronel Assis; Coronel Chrisóstomo; Coronel Fernanda; Coronel Meira; Coronel Telhada; Coronel Ulysses; Covatti Filho; Da Vitoria; Dal Barreto; Daniela Reinehr; Danilo Forte; David Soares; Dayany Bittencourt; Defensor Stélio Dener; Delegada Ione; Delegada Katarina; Delegado Fabio Costa; Delegado Marcelo Freitas; Delegado Paulo Bilynskyj; Delegado Ramagem; Diego Andrade; Diego Coronel; Diego Garcia; Dilceu Sperafico; Dimas Gadelha; Domingos Neto; Domingos Sávio; Dr. Fernando Máximo; Dr. Jaziel; Dr. Luiz Ovando; Dr. Victor Linhalis; Dr. Zacharias Calil; Eduardo Bismarck; Eduardo da Fonte; Eduardo Velloso; Elcione Barbalho; Emanuel Pinheiro Neto; Eriberto Medeiros; Evair Vieira de Melo; Fausto Pinato; Fausto Santos Jr.; Felipe Carreras; Felipe Francischini; Fernanda Pessoa; Fernando Rodolfo; Flávia Moraes; Fred Costa; Fred Linhares; General Girão; Geraldo Mendes; Geraldo Resende; Gilberto Abramo ; Gilberto Nascimento; Gilson Daniel; Gilvan Maximo; Giovanni Cherini; Heitor Schuch; Helder Salomão; Henderson Pinto; Icaro de Valmir; Idilvan Alencar; Jadyel Alencar; Jeferson Rodrigues; João Carlos Bacelar; João Leão; Jorge Goetten; José Nelto; José Priante; José Rocha; Juarez Costa; Júlio Cesar; Juninho do Pneu; Júnior Ferrari; Júnior Mano; Kim Kataguirri; Lafayette de Andrada; Laura

Carneiro; Leonardo Monteiro; Lincoln Portela; Luciano Vieira; Lucio Mosquini; Luisa Canziani; Luiz Lima; Luiz Nishimori; Marangoni; Marcelo Álvaro Antônio; Marcelo Crivella; Marcelo Lima; Marcelo Queiroz; Márcio Honaiser; Márcio Jerry; Márcio Marinho; Marco Brasil; Maria Arraes; Mario Frias; Mário Heringer; Marreca Filho; Marussa Boldrin; Mauricio Marcon; Mauricio Neves; Max Lemos; Meire Serafim; Mendonça Filho; Mersinho Lucena; Messias Donato; Murillo Gouvea; Newton Cardoso Jr; Nicoletti; Nikolas Ferreira; Nilto Tatto; Osmar Terra; Padre João; Pastor Diniz; Pastor Sargento Isidório; Paulo Alexandre Barbosa; Paulo Foletto; Pedro Aihara; Pedro Campos; Pedro Westphalen; Pezenti; Pompeo de Mattos; Prof. Reginaldo Veras; Renilce Nicodemos; Roberto Duarte; Roberto Monteiro Pai; Rodrigo Estacho; Rogéria Santos; Rogério Correia; Romero Rodrigues; Rosana Valle; Rosângela Moro; Rosângela Reis; Rubens Otoni; Sâmia Bomfim; Sargento Portugal; Silvia Cristina; Silvia Waiãpi; Silvye Alves; Socorro Neri; Thiago de Joaldo; Tiririca ; Toninho Wandscheer; Vander Loubet; Vicentinho Júnior; Vinicius Carvalho; Vitor Lippi; Washington Quaqué; Wellington Roberto; Wilson Santiago; Yandra Moura; Zé Silva; Zé Trovão; Zezinho Barbary; Zucco.

Senadores: Alan Rick; Angelo Coronel; Astronauta Marcos Pontes; Dr. Hiran; Esperidião Amin; Flávio Bolsonaro; Hamilton Mourão; Izalci Lucas; Jayme Campos; Laércio Oliveira; Luis Carlos Heinze; Paulo Paim; Professora Dorinha Seabra; Weverton

Gabinete do Deputado Federal Julio Lopes

Gabriel Guimarães - Mestre em Ciência Política (IESP/UERJ)

Linik Rykaszewski - Internacionalista (IUPERJ/UCAM)

Matheus Braga - Cientista Político (UNIRIO)

Paula Gonçalves - Mestre em Ciência Política (UFF)

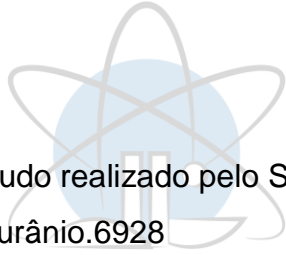
Colaboradores Técnicos

Inayá Lima - Profª Doutora em Ciências em Engenharia Nuclear (COPPE/UFRJ)

João Leal - Coordenador de Energia Nuclear na SEENEMAR/RJ

Jonatas Monteiro - Mestre em Economia (UFF)

Ricardo Alvarenga de Melo - Advogado e Pós-Graduando em Direito Regulatório (UERJ)



ANEXO



Estudo realizado pelo Serviço Geológico Brasileiro que ilustra o atual cenário global do urânio.6928



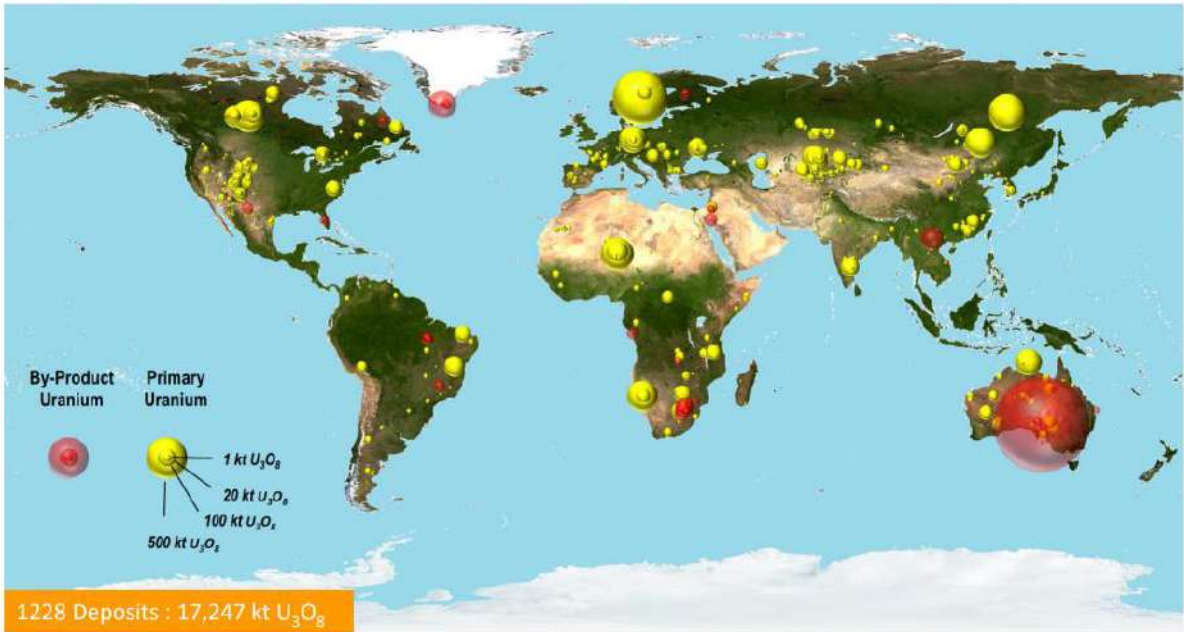
CENÁRIO GLOBAL DO URÂNIO



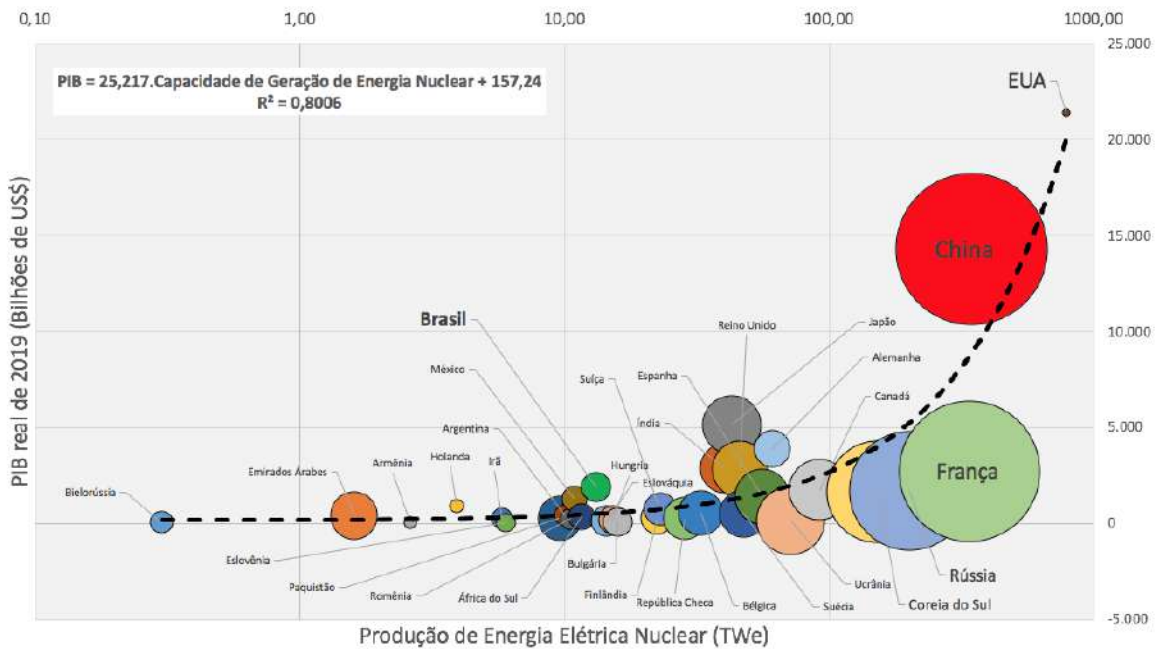
2

Localização dos Depósitos de Urânio Primário e Secundário

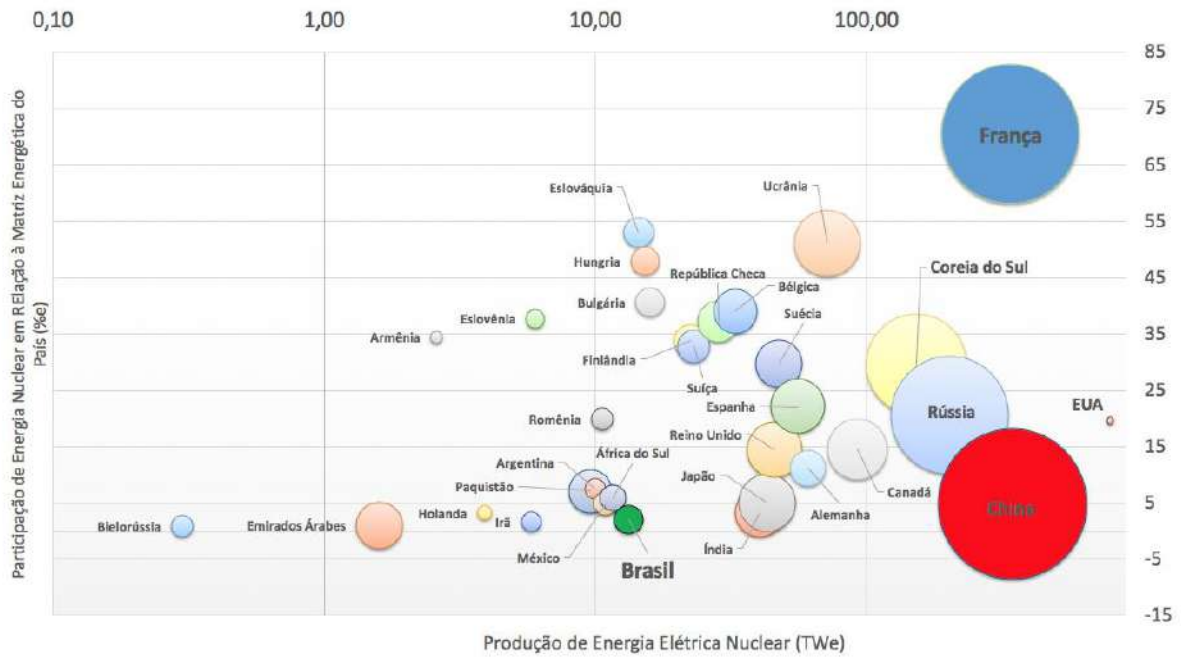




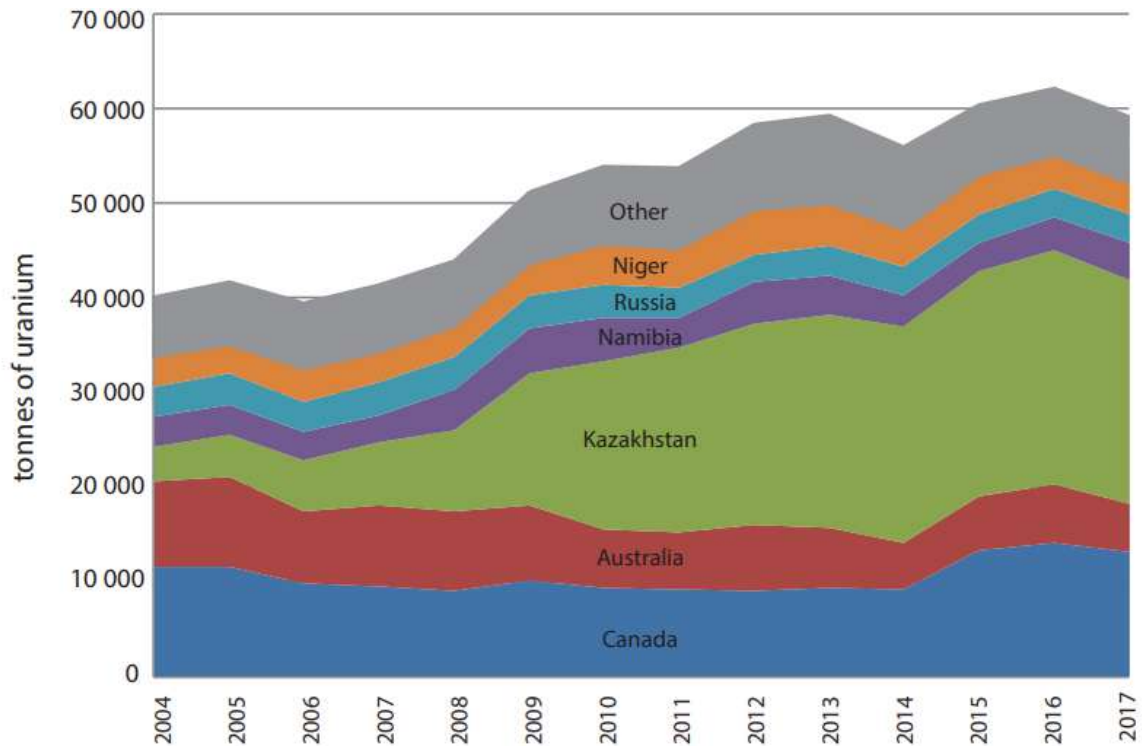
Source: MinEx Consulting © June 2018



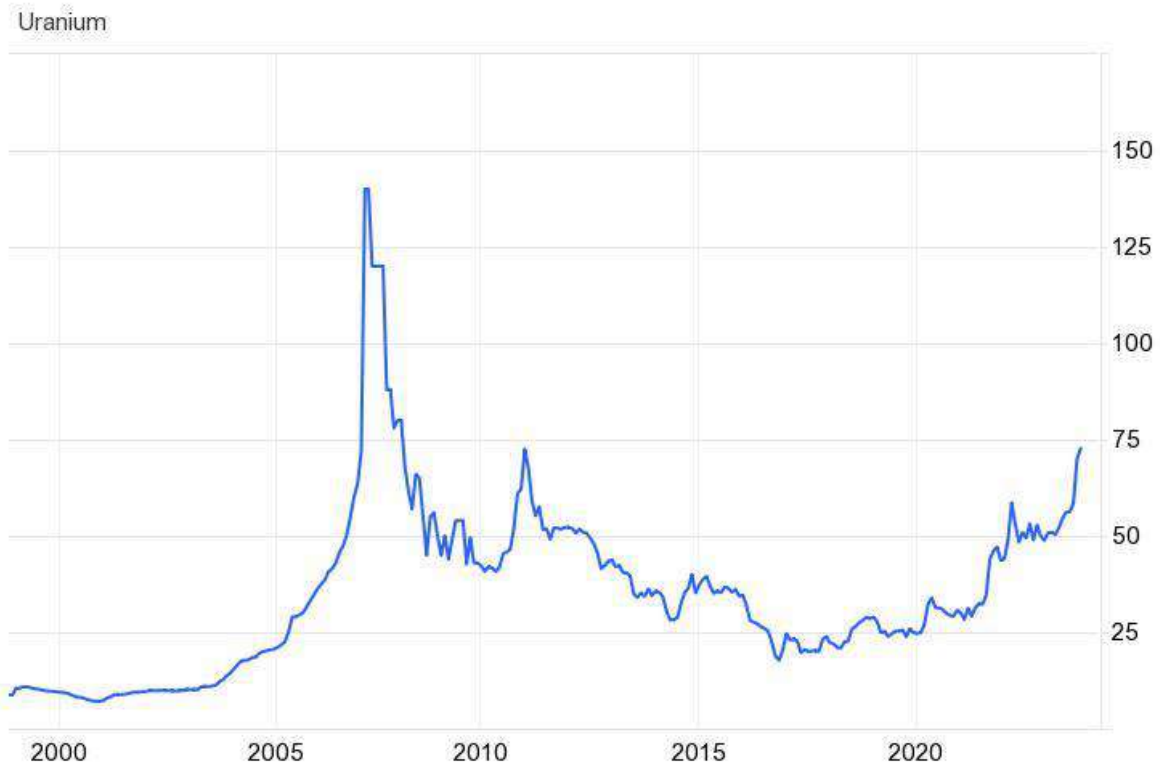
Energia Nuclear na Matriz Energética



Produção Mundial



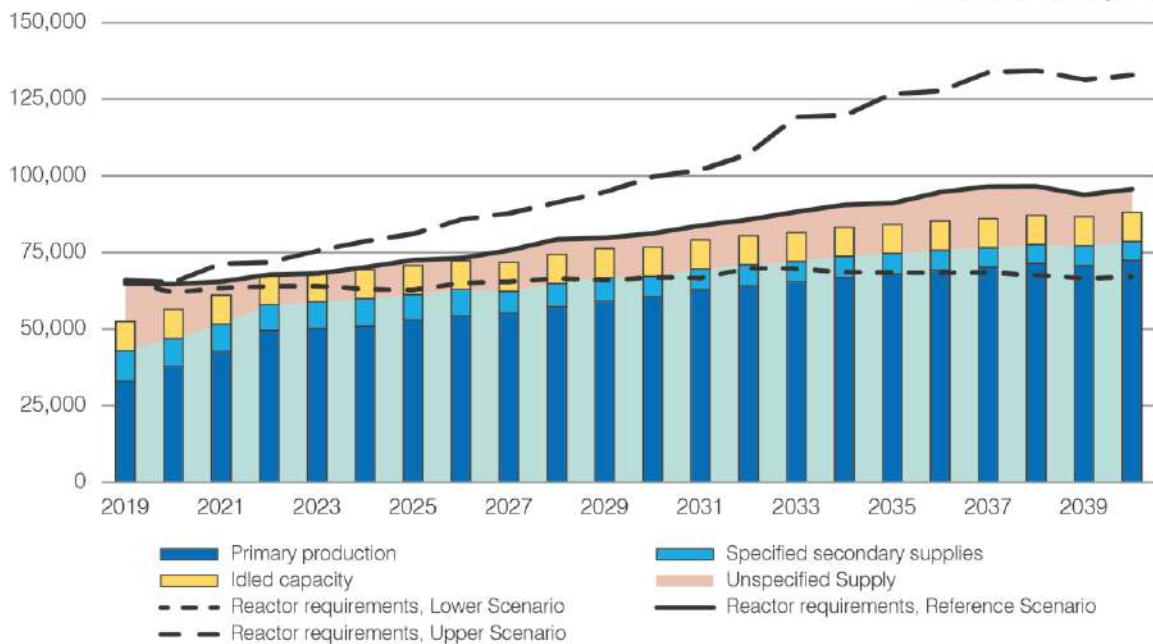
Evolução dos Preços: 25 anos



source: tradingeconomics.com

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION

Reference Scenario global UF₆ conversion supply and demand, tU

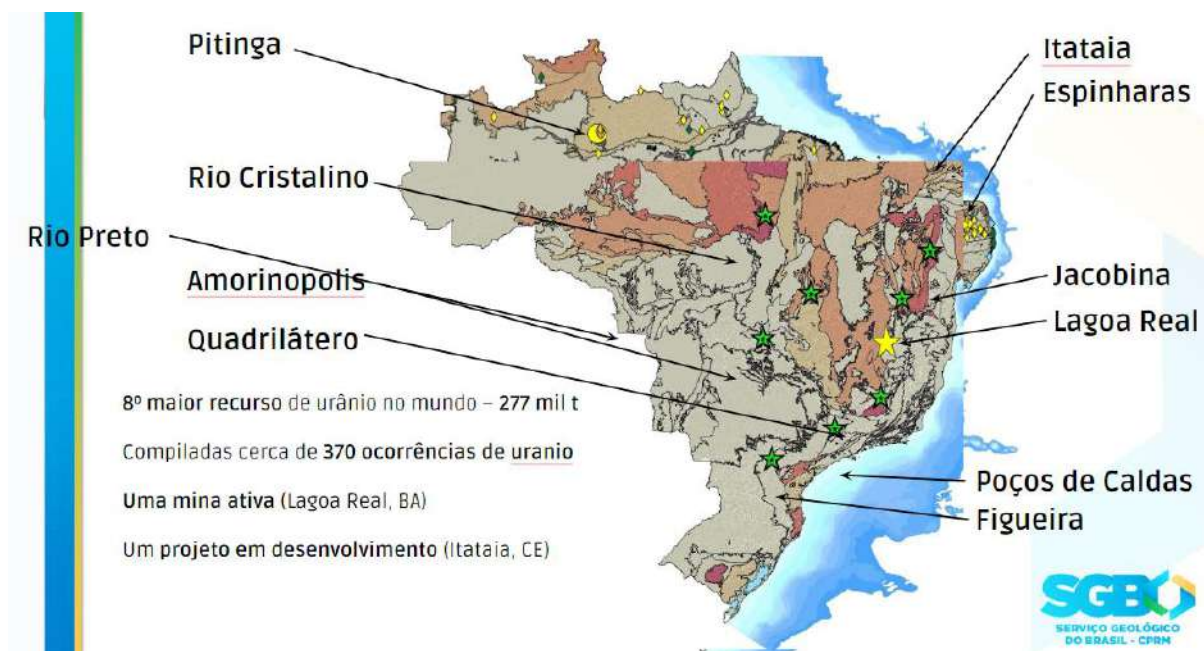


AÇÕES DO SGB E POTENCIAL BRASILEIRO



NOVO PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO





Recursos e Potenciais de Mineralização

Projeto de Exploração	Conteúdo Mineral (t de U ₃ O ₈)		
	Medido e Indicado	Inferido	Total
Caetité (Lagoa Real)	51.520	35.569	87.089
Santa Quitéria	91.200	51.300	142.500
Poços de Caldas	20.000	6.800	26.800
Quadrilátero Ferrífero	5.000	10.000	15.000
Amorinópolis	2.000	3.000	5.000
Campos Belos / Rio Preto	500	500	1.000
Figueira	7.000	1.000	8.000
Espinharas	5.000	5.000	10.000
Total	182.220	113.169	295.389
Potencial de Mineralização: Pitinga/AM 150.000 t U ₃ O ₈			
Rio Cristalino/PA 150.000 t U ₃ O ₈			

Província Lagoa Real: Produção e Recursos



URA- CAETITÉ: Produção de 3,750 t de concentrado de Urânio entre 2000 e 2015 (Mina Fazenda Cachoeira); Produção retomada em 2020 na mina Fazenda Engenho. Produção anual estimada em 260 t de concentrado de Urânio; Recursos: 87 Kt de U3O8.

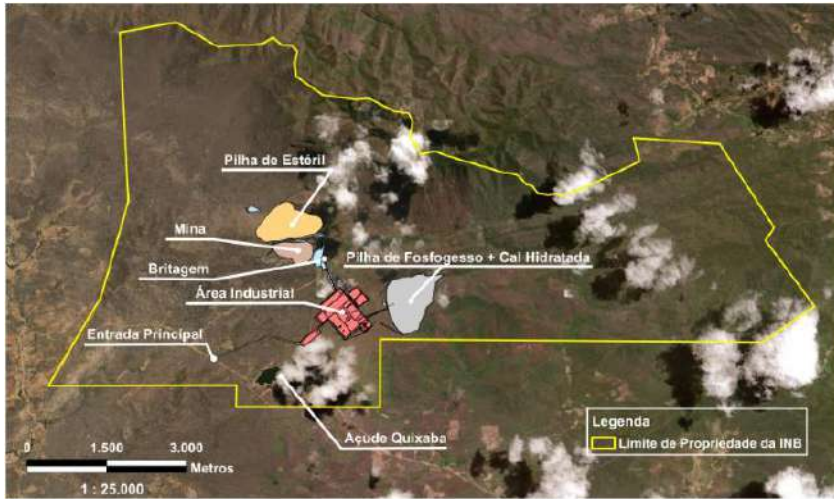


Itaia –CE - Recursos e previsão



NOVO **PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO**





Minério:
Colofanito (Urânio
associado a Fosfato)
67,95 Mt

Urânio: 881 ppm
Fosfato: 11% P_2O_5



INÍCIO DA PRODUÇÃO ESTIMADA PARA 2026



Fertilizantes Fosfatados
-Produção de 1.050.000 t/ano com alto teor de P_2O_5 para agricultura.



Fosfato Bicálcico
-Produção de 220.000 t/ano de fonte inorgânica de fósforo e cálcio para nutrição animal.



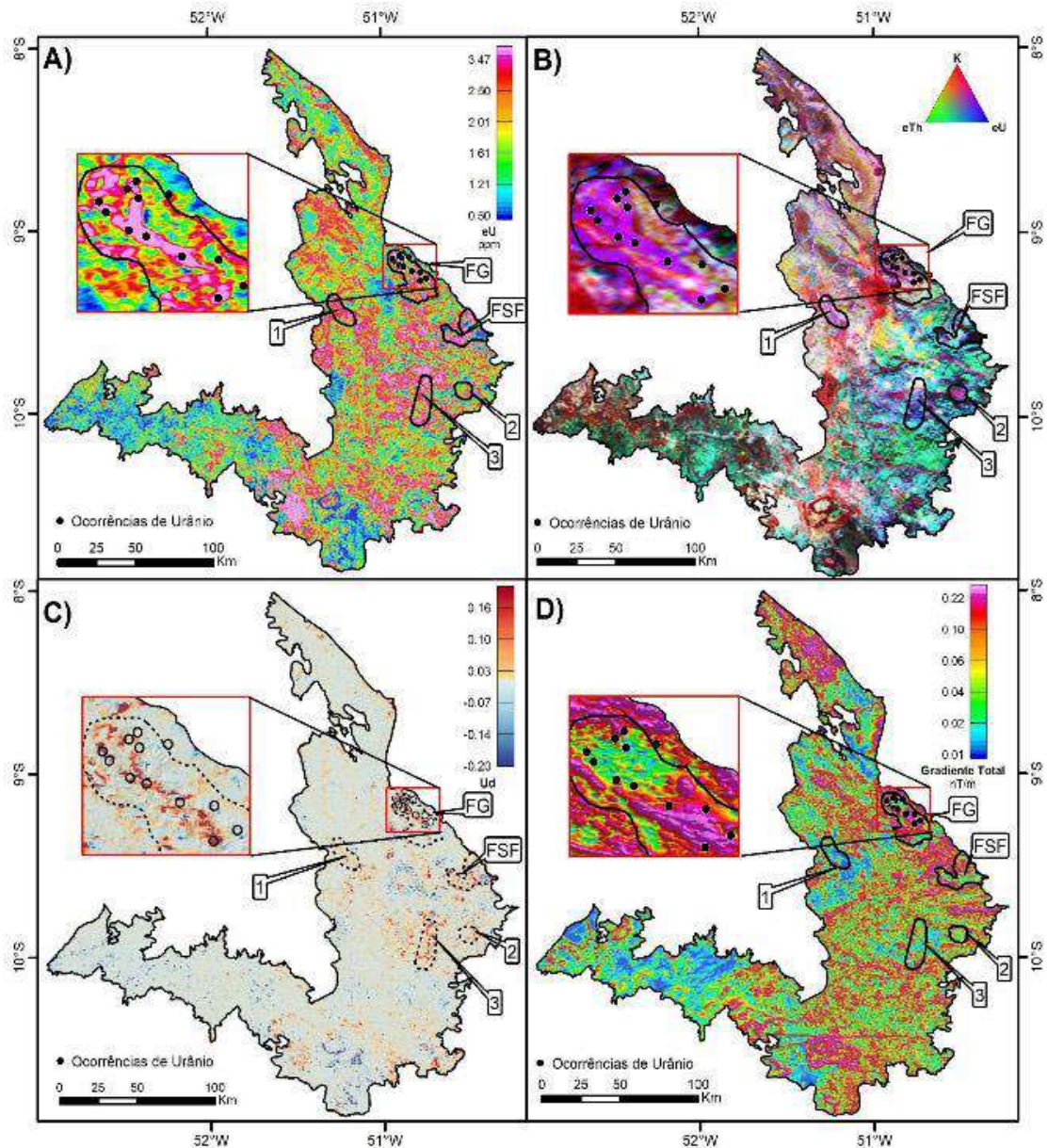
Concentrado de Urânio
-Produção de 2.300 t/ano U_3O_8 , extraídas do ácido fosfórico.



ânio
fato)



Possibilidade de ocorrência de outros depósitos em áreas próximas com mesmo contexto geológico



Rio Cristalino – PA – Recursos e perspectivas

TRINCHEIRA	TEOR DE CORTE (ppm/ U_3O_8)	ESPESSURA (m)	TEOR MÉDIO (ppm/ U_3O_8)
T-1	500	3,25	1.200
		0,75	3.400
		0,50	1.600
T-2	500	6,00	5.900
T-3	500	2,75	5.100
T-4	500	1,75	1.500

Lei que permite extração privada de minérios nucleares é sancionada com vetos

LEI Nº 14.514, DE 29 DE DEZEMBRO DE 2022

EMENTA: Dispõe sobre a empresa Indústrias Nucleares do Brasil S.A. (INB), sobre a pesquisa, a lavra e a comercialização de minérios nucleares, de seus concentrados e derivados, e de materiais nucleares, e sobre a atividade de mineração; altera as Leis nºs 4.118, de 27 de agosto de 1962, 8.001, de 13 de março de 1990, 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.438, de 26 de abril de 2002, 13.575, de 26 de dezembro de 2017, 13.848, de 25 de junho de 2019, e 14.222, de 15 de outubro de 2021, e o Decreto-Lei nº 227, de 28 de fevereiro de 1967 (Código de Mineração); e revoga a Lei nº 5.740, de 1º de dezembro de 1971, e dispositivos das Leis nºs 4.118, de 27 de agosto de 1962, 6.189, de 16 de dezembro de 1974, 7.781, de 27 de junho de 1989, 13.575, de 26 de dezembro de 2017, e 14.222, de 15 de outubro de 2021, e do Decreto-Lei nº 1.038, de 21 de outubro de 1969.



Mina do Engenho tem lavra de urânio a céu aberto em Caetité (BA)



Conclusões

Primeiro mapa de potencial de urânio em escala continental;

Compilação de ocorrências e depósitos de urânio em uma única base de dados pública;

Identificação de novas áreas prospectivas para urânio em escala continental;

Identificação preliminar novas áreas potenciais na Província Lagoa Real, usando aprendizado de maquina;

Avaliação do depósito de Rio Cristalino e investigação de ampla área no sul do Cráton Amazônico com possibilidade de ocorrência de depósitos similares.

