

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CEL INF JOSE GIRON SOBRINHO NETO

**ARRASTOS CIENTÍFICOS, TECNOLÓGICOS E DOS PROCESSOS DE
INOVAÇÃO NO DESENVOLVIMENTO E APRIMORAMENTO DO PODER
NAVAL**

O alcance social do Programa Nuclear da Marinha (PNM)

Rio de Janeiro

2021

CPEM 2021

O ALCANCE SOCIAL DO PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA (PNM)

Tese apresentada à Escola de Guerra Naval, como requisito parcial para a conclusão do Curso de Política e Estratégia Marítimas.

Orientador: CMG (RM1) Adriano Lauro

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval
2021

Oxxx

Neto, Jose Giron Sobrinho.

Estudo sobre o alcance social do Programa Nuclear da Marinha (PNM)/
Neto, Jose Giron Sobrinho.

77 f.: il. 30cm.

Tese (TCC) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021.
Bibliografia: f. 72-77.

1. Mineração. 2. Geração de Energia. 3. Medicina Nuclear. 4.
Conservação de Alimentos. 5. Dessalinização. 6. Qualidade de Vida e
Alcance Social. 7. Impacto de tecnologia Nuclear. I. Título

CDD xxx.x

DEDICATÓRIA

“Dedico este trabalho às minhas amadas filhas e esposa, pela paciência, tolerância e pela força que me dão sempre para seguir em frente”.

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por ter sempre me acompanhado e me ajudado a superar os momentos mais difíceis de minha carreira e, em especial, permitido que todos os objetivos nesta minha caminhada militar fossem plenamente alcançados. Ao corpo docente da EGN, grandes profissionais que labutam com proficiência e camaradagem, por proporcionarem o melhor método de aprendizado possível aos Oficiais-Alunos. À minha esposa, Fabrícia Freitas Giron, exemplo de companheira resiliente, pela compreensão dos sacrifícios impostos e necessários à consecução de mais uma missão. Às minhas filhas, Giovanna e Isabella, obrigado pela compreensão, carinho e atenção. Neste fim de Curso, agradeço a oportunidade única de conhecer mais a MB e a amizade e a camaradagem com os amigos da MB e da FAB. É com sentimento de gratidão, que agradeço o meu orientador, o CMG (RM1-FN) Adriano Lauro, que, com seu conhecimento, simplicidade e segurança, permitiu que eu desenvolvesse, com a tranquilidade e a certeza necessárias, todas as etapas deste trabalho, sempre com orientações precisas e seguras. Ao grande amigo Professor Dr. Eng Fernando M. Araujo Moreira, Professor Titular, Departamento de Física, Curso de Engenharia Física, da UFSCar-SP, pela amizade, pelas orientações precisas e por compartilhar seu conhecimento no planejamento e elaboração desse trabalho.

RESUMO

Com o objetivo de estudar o alcance social do PNM, o presente trabalho propõe-se a analisar as externalidades positivas e o uso dual das tecnologias desenvolvidas, priorizando os impactos positivos na melhoria da qualidade de vida e nas condições de bem-estar social na sociedade brasileira. A metodologia utilizada engloba descrição, pesquisa, análise das informações levantadas e apontamento de algumas sugestões para a solução dos gargalos desse setor, servindo de base ou referência para futuros estudos na área nuclear brasileira. O resultado é uma tese estruturada em seis capítulos, nos quais são abordados: Nos cinco capítulos iniciais, o gigantismo natural do País com suas riquezas, população e o importante papel a cumprir das tecnologias nucleares na melhoria da qualidade de vida das pessoas; a evolução histórica do setor nuclear brasileiro e a legislação que o ampara; a metodologia aplicada na realização deste trabalho; o setor de mineração de urânio no país com suas potencialidades e limitações; as principais aplicações do uso dual das tecnologias nucleares e os benefícios do uso pacífico dessas tecnologias em prol da melhoria na qualidade de vida das pessoas; a formação de uma consciência nacional por meio do esclarecimento da sociedade brasileira sobre os benefícios do uso pacífico das tecnologias nucleares, visando romper preconceitos e ideias pré-concebidas com o objetivo de aumentar a aceitabilidade popular dessas tecnologias. Na conclusão, são realizados alguns apontamentos que visam aperfeiçoar o setor nuclear brasileiro tornando-o mais dinâmico, eficiente e menos dependente dos investimentos estatais, enfatizando-se o grande alcance social do uso dual de suas tecnologias, o que certamente também poderá servir para futuros estudos sobre a temática. Não se pretende esgotar os estudos sobre o tema, mas acredita-se que as conclusões apresentadas poderão servir para orientar na mitigação de possíveis limitações visualizadas e, de qualquer forma, contribuir com o aprimoramento do setor nuclear brasileiro.

Palavras-chave: mineração; geração de energia; medicina nuclear; conservação de alimentos; dessalinização; qualidade de vida; alcance social.

RESUMEN

Para estudiar el alcance social del PNM, este trabajo tiene como objetivo analizar las externalidades positivas y el uso dual de las tecnologías desarrolladas, priorizando los impactos positivos en la mejora de la calidad de vida y en las condiciones de bienestar social de la sociedad brasileña. La metodología utilizada abarca la descripción, investigación, análisis de la información recopilada y señalando algunas sugerencias para la solución de los cuellos de botella en este sector, sirviendo de base o referencia para futuros estudios en el área nuclear brasileña. El resultado es una monografía estructurada en seis capítulos, que se abordan: En los cinco capítulos iniciales, el gigantismo natural del país con su riqueza, población y el importante papel que deben desempeñar las tecnologías nucleares en la mejora de la calidad de vida de las personas; la evolución histórica del sector nuclear brasileño y la legislación que lo sustenta; la metodología aplicada en la realización de este trabajo monográfico; el sector minero de uranio en el país con su potencial y limitaciones; las principales aplicaciones del uso dual de las tecnologías nucleares y los beneficios del uso pacífico de estas tecnologías para mejorar la calidad de vida de las personas; la formación de una conciencia nacional a través del esclarecimiento de la sociedad brasileña sobre los beneficios del uso pacífico de las tecnologías nucleares, con el objetivo de romper prejuicios e ideas preconcebidas con el objetivo de incrementar la aceptabilidad popular de estas tecnologías. En conclusión, se hacen algunas notas que apuntan a mejorar el sector nuclear brasileño, haciéndolo más dinámico, eficiente y menos dependiente de las inversiones estatales, destacando el gran alcance social del uso dual de sus tecnologías, que sin duda será también de utilidad para futuros estudios sobre el tema. No se pretende agotar los estudios sobre el tema, pero se cree que las conclusiones presentadas pueden servir para orientar la mitigación de posibles limitaciones observadas y, en todo caso, contribuir a la mejora del sector nuclear brasileño.

Palabras clave: minería; generación de energía; medicina nuclear; conservación de alimentos; desalinización; calidad de vida; alcance social.

LISTA DE TABELAS, QUADROS E FIGURAS

FIGURA 1 Maiores áreas, populações e economias mundiais	12
FIGURA 2 Concentrado de Urânio por região.....	31
FIGURA 3 Ciclo do combustível nuclear	34
FIGURA 4 Custo de 1 Kg de urânio como combustível (UO ₂)	35
FIGURA 5 Potencial hidrelétrico inventariado e interferência em áreas protegidas	37
FIGURA 6 Projeções de longo prazo	38
FIGURA 7 Consumo <i>per capita</i> de eletricidade	42
FIGURA 8 Radionuclídeos utilizados na medicina nuclear no Brasil	43
FIGURA 9 Escopo do Projeto RMB	46
FIGURA 10 Vida útil de alimentos não irradiados e irradiados.	50
FIGURA 11 Legislação sobre irradiação de alimentos no Brasil	52
FIGURA 12 Exemplos de gamagrafia industrial	53
FIGURA 13 Abrangência do Projeto DES-SAL.....	58
QUADRO 1 Uso Dual das Tecnologias Nucleares.....	59

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivos da pesquisa	15
1.1.1 Objetivo geral	15
1.1.2 Objetivos específicos	15
1.1.3 Metodologia.....	16
1.1.4 Relevância da pesquisa.....	17
1.1.5 Estrutura da pesquisa.....	18
2. REFERENCIAL TEÓRICO	20
2.1 Aspectos históricos do Programa Nuclear Brasileiro	20
2.2 O Programa Paralelo Brasileiro.....	22
2.3 Fundamentação teórica.....	24
3. URÂNIO-MINERAÇÃO E BENEFICIAMENTO	30
4. USO DUAL DAS TECNOLOGIAS NUCLEARES DESENVOLVIDAS PELO PNM	37
4.1 Geração de energia elétrica.....	37
4.2 Medicina nuclear.....	42
4.3 Agricultura.....	47
4.4 Indústria.....	53
4.5 Meio ambiente.....	54
4.6. Dessalinização de água	55
4.7 Quadro sintético sobre uso dual das tecnologias nucleares.....	58
5. FORMAÇÃO DE UMA CONSCIÊNCIA SOBRE TECNOLOGIAS NUCLEARES	62
6. CONCLUSÃO	67
REFERÊNCIAS	72

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABACC	Agência Brasil-Argentina de Contabilidade e Controle
AIEA	Agência Internacional de Energia Atômica
AJB	Águas Jurisdicionais Brasileiras
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BID	Base Industrial de Defesa
BPF	Boas Práticas de Fabricação
CAPEX	Custo de Construção de uma Usina Nuclear
CDPNB	Comitê de Desenvolvimento do Programa Nuclear Brasileiro
CF/88	Constituição Federal do Brasil
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
^{60}Co	Cobalto 60
CPI	Comissão Parlamentar de Inquérito
CRCN-NE	Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
C&T	Ciência e Tecnologia
EGN	Escola de Guerra Naval
END	Estratégia Nacional de Defesa
EUA	Estados Unidos da América
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura
FDG-18F	Fluorodesoxiglicose
FFAA	Forças Armadas
GEE	Gases do Efeito Estufa
GSI	Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República
IBAMA	Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IEA	Instituto de Energia Atômica
INB	Indústrias Nucleares do Brasil
IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
LBDN	Livro Branco de Defesa Nacional
MB	Marinha do Brasil
MMA	Ministério do Meio Ambiente

Mo-99	Molibdênio 99
OND	Objetivo Nacional de Defesa
ONU	Organização das Nações Unidas
OPEX	Custo de Operação de uma Usina Nuclear
PAC	Programa de Aceleração do crescimento
PDN	Política de Defesa Nacional
PIB	Produto Interno Bruto
PNB	Programa Nuclear Brasileiro
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PNP	Programa Nuclear Paralelo
PPP	Parceria Público Privada
PROSUB	Programa de Desenvolvimento de Submarinos
RH	Recursos Humanos
RMB	Reator Multipropósito Brasileiro
SIN	Sistema Integrado Nacional
SIT	Técnica de Insetos Estéreis
SMN	Serviço de Medicina Nuclear
SNBR	Submarino de Propulsão Nuclear Brasileiro
SUS	Sistema Único de Saúde
TNP	Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares
UCEU	Unidade Comercial de Enriquecimento de Urânio
ZOOPACAS	Zona de Paz e Cooperação do Atlântico Sul

1. INTRODUÇÃO

O Brasil, um país de dimensões continentais, possui a sexta maior extensão territorial do planeta, com 23.000 km de fronteiras, sendo 15.500 terrestres e, totalmente banhadas pelo Oceano Atlântico, 7.500 fronteiras marítimas. Além disso, é composto por uma população superior a 200 milhões de habitantes, com elevado índice de concentração no litoral, e apresenta o 19º Produto Interno Bruto (PIB) entre as economias mundiais.

Segundo Ronaldo Carmona (2014), “um país para se tornar potência precisa reunir condições objetivas (atributos clássicos de poder) tais como território, população, riqueza, capacidade militar e científica”.

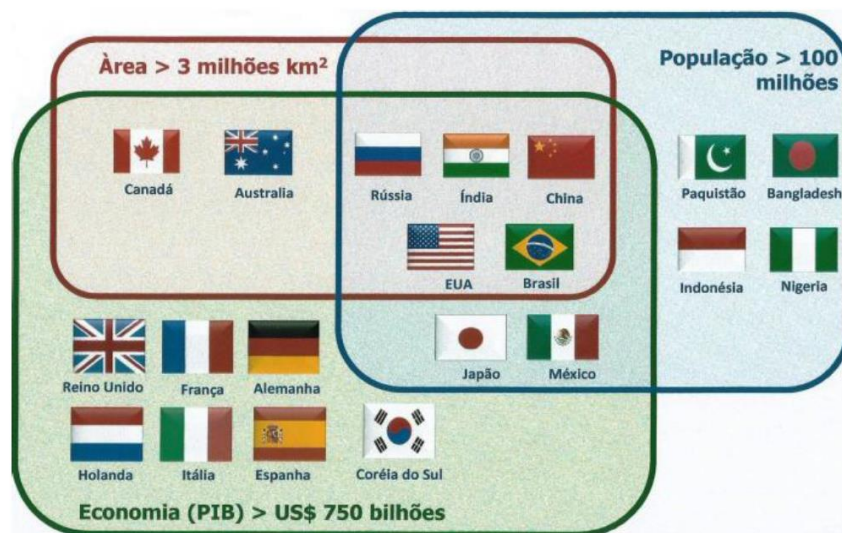


FIGURA 1 - Maiores áreas, populações e economias mundiais
Fonte: Carmona (2014, p. 42)

Como lembra Ricupero¹ (2012, *apud* Carmona, 2014), para Kennan, geopolítico e diplomata estadunidense, países que combinam ao mesmo tempo “uma extensão continental e grande população”² são denominados de *Monster Countries*. Assim, para o geopolítico, naquela época somente existiam cinco países monstros: Estados Unidos da América (EUA), [ex-]União Soviética, China, Índia e Brasil.

Conforme demonstrado na figura 1, o Brasil se posiciona em um seleto grupo de países de grande valor potencial³ (população, economia e extensão territorial), entretanto caracteriza-se como o único dentre estes países que faz uso da energia nuclear somente para fins pacíficos.

¹ (FUNAG, 2012).

² Ideia apresentada em *Around the Cragged Hill: A Personal and Political Philosophy*, cuja primeira edição é de 1993.

³ É a força e os recursos que uma pessoa, uma coletividade ou uma nação dispõe.

Dessa forma, o desenvolvimento das tecnologias nucleares para aplicações pacíficas é um dos principais portadores de futuro para as vindouras gerações de brasileiros.

O PROSUB pode ser entendido como um indutor para o domínio de tecnologias sensíveis pelo país, por ser um programa inovador e de imensurável transbordamento de novas tecnologias para a indústria nacional. Criado em 2008, por meio da parceria estabelecida entre o Brasil e a França, esse Programa tem como objetivo a produção de quatro submarinos convencionais e a fabricação do primeiro submarino brasileiro com propulsão nuclear.

A busca incansável pela Marinha do Brasil (MB) em desenvolver o primeiro submarino brasileiro com propulsão nuclear vem proporcionando ao país romper, via domínio de tecnologias sensíveis, o histórico cerceamento tecnológico. O PNM vem sendo executado desde 1979, com o propósito de dominar o ciclo do combustível nuclear e desenvolver e construir uma planta nuclear de geração de energia elétrica.

Para o Almirante Ney Zanella, "trata-se de uma tecnologia imprescindível para que o país exerça sua soberania plena sobre as águas jurisdicionais brasileiras, a única ferramenta que permitirá a Marinha estar onipresente em um território marítimo de dimensões colossais" (DANTAS, 2014a, p.4).

Como a tecnologia nuclear é de difícil compartilhamento entre os países, devido a sua sensibilidade, o Brasil foi obrigado a buscar o desenvolvimento totalmente autóctone nesse setor. Assim, para viabilizar o submarino de propulsão nuclear, a Marinha teve que antes dominar o ciclo completo do combustível nuclear e adquirir a capacidade de projetar e construir uma planta de propulsão nuclear, tecnologia ora em curso.

Segundo o Almirante Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Jr, "em 1987, a Marinha divulgou, oficialmente, o domínio do difícil processo do enriquecimento de urânio por ultracentrifugação" (DANTAS, 2017, p. 4), dando ao país a chave do desenvolvimento de tecnologias nucleares de uso dual. Atualmente, encontra-se em construção o LABGENE⁴, sendo a primeira instalação de energia nucleoeleétrica totalmente projetada no país.

O PROSUB está produzindo um efeito multiplicador muito grande no desenvolvimento nacional por meio de *spin-off* (transbordamento da área militar para a civil), transferindo para a BID e para o setor nuclear, como um todo, um arrasto tecnológico sem precedentes, abastecendo as indústrias com tecnologias inovadoras, mudando o patamar estratégico brasileiro.

⁴ LABGENE designa o Laboratório de Geração de Energia Nucleoeleétrica. É o protótipo, em terra, da planta de propulsão nuclear do submarino. Está sendo construído no Centro Industrial Nuclear de Aramar, localizado no Município de Iperó-SP).

A MB participa ativamente do desenvolvimento do Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), por intermédio da AMAZUL⁵, apoiando o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), através das experiências adquiridas com o seu programa nuclear.

O RMB é um empreendimento da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN). Sua conclusão significará expandir as técnicas no uso da medicina nuclear, da conservação de alimentos, do controle de pragas na agricultura, no desenvolvimento de novos materiais pela indústria, testes de novos combustíveis nucleares etc. Esse reator tornará o Brasil autossuficiente na produção de radioisótopos para deles obter radiofármacos, proporcionando soberania e independência tecnológica, além de ampliar o alcance social das tecnologias nucleares no país.

O RMB é um projeto estratégico e estruturante para o Brasil. Nas palavras do Almirante Bento Costa Lima Leite de Albuquerque,

é um empreendimento da Cnen, de grande alcance social e arrasto tecnológico, que se beneficiará do esforço e do investimento realizados pelo PNM. O domínio tecnológico significa ter mais ferramentas, remédios inteligentes, materiais avançados e matriz energética mais flexível (DANTAS, 2017, p. 6).

O Brasil está prestes a expandir suas capacidades nucleares com previsão de construir um submarino com propulsão nuclear com tecnologias autóctones, prover a fabricação em escala industrial do combustível nuclear, concluir as obras da usina nuclear de Angra 3, construir um novo reator de pesquisa (RMB) e propiciar a extensão da vida útil de Angra 1 por mais vinte anos.

Na mineração, visualiza-se o aumento da produção do combustível nuclear em escala industrial, a exploração de novas minas de urânio e a possibilidade, pela primeira vez, de investimentos privados em áreas específicas do Programa Nuclear Brasileiro (PNB). Nesse avanço do setor nuclear no país, a MB vem desempenhando um papel protagonista e abrangente.

Do exposto, com o tema especificado pela Escola de Guerra Naval (EGN): Arrastos científicos, tecnológicos e dos processos de inovação no desenvolvimento e aprimoramento do poder naval; e o título sugerido – O alcance social do Programa Nuclear da Marinha pretende-se investigar, por meio de análise crítica, o momento atual e as expectativas de expansão vivenciadas pelo setor nuclear brasileiro, particularmente naquelas áreas impactadas pelo uso

⁵ A Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A. (AMAZUL) foi constituída em 2013 com o objetivo de absorver, promover, desenvolver, transferir e manter atividades sensíveis aos Programa Nuclear da Marinha (PNM), PROSUB e Programa Nuclear Brasileiro (PNB).

dual das tecnologias desenvolvidas no PNM que são de grande alcance social e de aplicação direta na melhoria da qualidade de vida dos brasileiros.

Além disso, procurar entender os desafios deste setor e propor algumas sugestões de como equacioná-los, com vistas a tornar a área nuclear mais dinâmica, mais eficiente e menos dependente dos investimentos estatais no setor. Este trabalho de conclusão de curso se propõe a refletir sobre o alcance social do PNM e buscar solução para a questão principal: como as tecnologias de uso dual desenvolvidas pelo PNM podem melhorar a qualidade de vida das pessoas?

1.1 Objetivos da pesquisa

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal desse trabalho é analisar as tecnologias de uso dual desenvolvidas pelo PNM e suas externalidades positivas para a melhoria da qualidade de vida das pessoas.

1.1.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Identificar aspectos teóricos e normativos relacionados ao setor nuclear brasileiro e a sua evolução histórica;
- b) analisar o setor de mineração de urânio, suas potencialidades de expansão e a possibilidade de inserção do capital privado neste setor, tornando o país autossuficiente na produção de combustível nuclear;
- c) analisar as áreas alcançadas pelo desenvolvimento dual das tecnologias nucleares através do PNM, com destaque para as aplicações de grande alcance social tais como: geração de energia elétrica, medicina nuclear, agricultura, conservação de alimentos e dessalinização, apontando sugestões para ampliação dessas aplicações;
- d) descrever o processo de formação da consciência nacional sobre os benefícios do uso pacífico da energia nuclear, visando esclarecer as pessoas e romper preconceitos, construindo no país uma opinião favorável sobre o uso dessas tecnologias e;
- e) Identificar e descrever medidas capazes de contribuir para a ampliação do PNB.

1.1.3 Metodologia

Nessa seção, é apresentada a metodologia que foi utilizada para desenvolver este trabalho monográfico, especificando o método e o tipo de pesquisa realizado com o objetivo de responder o problema proposto.

Segundo Lakatos, “a pesquisa bibliográfica é um tipo específico de produção científica: é feita com base em textos, como livros, artigos científicos, ensaios críticos, dicionários, enciclopédias, jornais, revistas, resenhas, resumos. [...]” (LAKATOS; MARCONI, p. 54).

Ainda para o autor,

“método é o conjunto das atividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objetivo de produzir conhecimento válidos e verdadeiros, traçando o caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando as decisões do cientista.” (*Ibidem*, p. 91) e “técnica é um conjunto de procedimentos de que se serve uma ciência ou arte; é a habilidade para usar esses preceitos ou normas. Toda ciência utiliza inúmeras técnicas na obtenção de seus propósitos.” (*Ibidem*, p. 192).

Como finalidade básica estratégica, esta pesquisa busca aprofundar a forma sobre o uso dual das tecnologias nucleares desenvolvidas a partir do PNM, mostrando seu alcance social e o arrasto tecnológico para o desenvolvimento nacional. Além disso, procura apontar algumas sugestões para a solução dos gargalos desse setor, servindo de base ou referência para futuros estudos na área nuclear brasileira.

O trabalho será desenvolvido com base em pesquisa bibliográfica e documental, sendo estruturado da seguinte forma:

Será realizado um estudo, baseado no que prescreve a Política de Defesa Nacional (PDN), a Estratégia Nacional de Defesa (END), a Política Nuclear Brasileira e demais documentos que servem de arcabouço jurídico a respeito do setor nuclear brasileiro.

o método de análise será o descritivo, levando-se em conta o que prescreve as normas e a legislação em vigor a respeito do Programa Nuclear Brasileiro (PNB); e

o tipo de pesquisa que servirá de base para este trabalho será a pesquisa qualitativa.

Os levantamentos serão feitos junto à bibliografia disponível na biblioteca da Escola de Guerra Naval, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército e fontes fidedignas de consulta aberta em páginas eletrônicas da rede mundial de computadores.

A pesquisa documental se valerá de documentos internos do Ministério da Defesa do Brasil e Documentos Internacionais, no caso específico das Salvaguardas do PNB, para se entender a estruturação, as oportunidades, as demandas e o arcabouço legal em torno do uso pacífico da tecnologia nuclear, com o objetivo de tecer algumas considerações que visem a expansão do setor nuclear brasileiro.

Dentro desse enfoque, serão buscadas informações em relatórios, revistas, artigos e *sites* especializados, que digam respeito aos avanços, às oportunidades e às demandas do setor nuclear, assim como às tecnologias de uso dual provenientes do desenvolvimento do PNM.

Destaca-se que a pesquisa apresenta um fator positivo e relevante pelo fato de o país dominar todo o ciclo do combustível nuclear e possuir a sétima maior reserva de urânio do planeta, associado a uma indústria nuclear sólida. Além disso, a tecnologia nuclear possui grande alcance social e o setor concentra os principais portadores de futuro para o Brasil.

1.1.4 Relevância da pesquisa

Conforme assinala Kennan, o Brasil é por definição um país monstro (*Monster Country*), por possuir um território de dimensões continentais acrescido de vastos recursos naturais. Enquadra-se entre as maiores economias do mundo, possui uma grande população, que pode chegar a 250 milhões de habitantes em 2050, que demandará por energia, alimentos e melhorias em termos de qualidade de vida.

Além disso, o território brasileiro possui uma das maiores reservas de urânio do planeta e o país domina completamente todo o ciclo do combustível nuclear⁶, o que coloca o Brasil no rol de um grupo seletivo de países com essas características: EUA, Rússia, China e Brasil. Com isso, o Estado Brasileiro não pode prescindir de desenvolver e fazer o uso em larga escala das tecnologias nucleares para fins pacíficos, visando o desenvolvimento e o bem-estar da sociedade brasileira.

O gigantismo natural do país exigirá elevadas produções de energia, tecnologias competitivas para baratear o custo de produção e conservação de alimentos, a ampliação dos serviços voltados para a saúde e uma indústria sólida e pujante que possa suprir as demandas do mercado interno. As tecnologias nucleares estão intimamente ligadas à solução desses desafios, possuindo aplicações diretas em todas as áreas mencionadas, tendo sua participação cada vez mais crescente no cotidiano das pessoas.

Segundo DANTAS (2014d), desde 2012, o uso de fontes térmicas como carvão, gás e óleo diesel vem aumentando a complementação da oferta de energia elétrica, de fonte predominantemente hídrica. Por suas características, o país exige o investimento em novas fontes térmicas de base, que garantam a produção de grandes blocos de energia, a segurança do abastecimento e a expansão da oferta. Nesse cenário, a geração nuclear tem um importante

⁶ IPEN: Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=15285>
Acesso em: 4 jun. 2021

papel a cumprir em uma matriz elétrica diversificada, sustentável, eficiente e que preserve o meio ambiente e a segurança energética nacional.

O desenvolvimento nuclear brasileiro está diretamente ligado à MB. O propósito persistente de possuir um submarino de propulsão nuclear, obrigou-a a desenvolver o ciclo do combustível nuclear e a adquirir a capacidade de projetar e construir uma planta de propulsão nuclear. Graças a essa Força, o país rompeu o cerceamento tecnológico na área nuclear conquistando independência e soberania tecnológicas. Com isso, as bases tecnológicas do setor nuclear estão prontas, abrindo um leque incalculável de aplicações nas áreas de C&T e inovação, na indústria, na qualificação da mão de obra, nos serviços prestados, nas novas fontes de energia, ou seja, o setor nuclear é estratégico para o crescimento e o desenvolvimento nacional.

Dessarte, o setor nuclear é um dos grandes portadores de futuro da sociedade brasileira. As tecnologias nucleares impactam diretamente em todas as áreas do conhecimento humano, estando suas aplicações estão cada vez mais presentes no dia a dia das pessoas. A sua expansão e desenvolvimento significa melhoria na qualidade de vida e um futuro promissor para novas gerações de brasileiros.

1.1.5 Estrutura da pesquisa

Apresenta-se, neste subitem, a estrutura da pesquisa. Para obtenção dos objetivos propostos, o trabalho foi estruturado em sete capítulos, compreendendo no capítulo 1 a introdução, em que constam a apresentação inicial, o problema, os objetivos propostos, a relevância da pesquisa e sua estruturação.

No capítulo 2, abordando o referencial teórico, apresentam-se a evolução histórica do PNB e uma revisão da literatura, enfocando os principais aspectos da documentação de alto nível e das salvaguardas que normatizam o desenvolvimento e a utilização das tecnologias nucleares pelo Brasil.

O capítulo 3 tem por objetivo mostrar a metodologia da pesquisa.

O capítulo 4 apresenta o setor de mineração de urânio, seu potencial de crescimento a partir das tecnologias desenvolvidas pelo PNM, a possibilidade da participação do capital privado neste setor, a necessidade ou não de um novo marco regulatório para a mineração e os gargalos que precisam ser superados para a produção em escala industrial do combustível nuclear, visando a autossuficiência nacional.

Na sequência, no capítulo 5, busca-se caracterizar as principais aplicações de uso dual das tecnologias nucleares desenvolvidas a partir do PNM, procurando entendê-las e propor

sugestões para o desatamento dos nós que atrapalham o seu desenvolvimento. Espera-se mostrar como a expansão e a popularização dessas tecnologias no ambiente nacional prometem causar uma verdadeira revolução nas condições de bem-estar da sociedade brasileira.

O Capítulo 6 tem por objetivo demonstrar a necessidade de se formar uma consciência nacional em relação ao setor nuclear brasileiro, esclarecendo sobre os benéficos do uso pacífico dessas tecnologias, buscando romper preconceitos ou ideias pré-concebidas sobre esse setor.

No último capítulo, apresentam-se as conclusões da pesquisa e formulam-se sugestões visando tornar o setor nuclear brasileiro mais dinâmico, eficiente e menos dependente dos investimentos estatais, enfatizando-se o grande alcance social do uso dual de suas tecnologias, o que certamente também poderá servir para futuros estudos sobre a temática.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção busca fazer um relato da evolução histórica do setor nuclear brasileiro, abordar os principais aspectos presentes nos documentos de alto nível que normatizam o desenvolvimento e a utilização de tecnologias nucleares, bem como apresentar as salvaguardas em que o PNB está inserido.

2.1 Aspecto históricos do Programa Nuclear Brasileiro

Nesta subseção será apresentado um relato histórico sucinto sobre o desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil, selecionando os fatos mais importantes para o entendimento do que se pretende investigar.

Conforme Guilherme Camargo (2006),

“A energia nuclear é um caso único na história da ciência brasileira. Pela primeira vez, o Brasil acompanhou uma revolução científica desde o nascedouro até a sua aplicação nos laboratórios. Os cientistas brasileiros acompanharam cada passo do desenvolvimento daquela que é considerada a mais importante descoberta científica desde o domínio do fogo pelo homem primitivo. E, com certeza, a mais importante do século XX, tanto do ponto de vista energético e tecnológico quanto militar e estratégico. Esta inédita conquista científica brasileira deveu-se, em grande parte, ao almirante Álvaro Alberto da Motta e Silva.” (DANTAS, 2018a, p. 26)

O Presidente Dutra, através da Lei nº 1.310, de 15 de janeiro de 1951, criou o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), sendo o primeiro órgão governamental voltado para a C&T e tendo como propósito o explicitado no Artigo 1º da referida Lei, “terá por finalidade promover e estimular o desenvolvimento da investigação científica e tecnológica em qualquer domínio do conhecimento”. Seu primeiro presidente foi o Almirante Álvaro Alberto, nomeado em 1951 pelo Presidente Getúlio Vargas. O Almirante realizou uma ferrenha oposição às pretensões estadunidenses para obter o controle de propriedade das reservas mundiais de tório e urânio.

O Almirante formulou o Princípio das Compensações específicas, que previa basicamente que o Brasil estaria disposto a fornecer matérias-primas nucleares aos países interessados, desde que a contrapartida fosse a troca tecnologias e equipamentos para o desenvolvimento de uma indústria nuclear nacional.

Por meio deste princípio, o insigne oficial propôs a criação de uma legislação que protegesse as reservas nacionais de tório e urânio da espoliação estrangeira, aceitando somente a comercialização desses minerais na base de troca de tecnologia. Entretanto, a força do

“*McMahon-Act*”⁷ estadunidense, de 1946, inviabilizava qualquer cooperação com o Brasil.

Em 1952, o Brasil retorna às vendas para os EUA de urânio e tório. Como consequência desses novos acordos, o país trocou em 1954 dez mil toneladas de monazita e terras raras por cem mil toneladas de trigo estadunidense (SARAIVA, 2007, p. 98).

Em 1955, o Brasil se integra ao programa americano *Átomos para a Paz*, havendo uma sinalização de que os EUA haviam desistido de impedir totalmente o acesso às tecnologias atômicas por outros países. Em 1956, é instaurada uma Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) visando apurar supostas irregularidades no CNPq. Essa comissão sugeriu a revisão dos acordos prejudiciais ao país e sinalizou a necessidade de se produzir, em solo brasileiro, combustíveis nucleares sob total controle e propriedade estatal.

Naquele período, foram assinados dois acordos com os EUA: o Acordo de Cooperação para o Desenvolvimento de Energia Atômica com Fins Pacíficos e o Programa Conjunto para o Reconhecimento e a Pesquisa de Urânio no Brasil.

Com a posse de Juscelino Kubitschek em 1956, o país passa por uma nova conjuntura na sua política nuclear, sendo criados o Instituto de Energia Atômica (IEA), na USP, transformado posteriormente no Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e a CNEN, resultado do desmembramento do CNPq, diretamente subordinada à Presidência da República. Esse é o período de maior desenvolvimento dos grupos de pesquisadores nas universidades e nos centros de pesquisa.

Consequência da integração brasileira ao programa *Átomos para a Paz*, o Brasil adquiriu pequenos reatores de pesquisa e treinamento que foram espalhados em 7 (sete) estados diferentes. No período, o setor nuclear perdeu iniciativas promissoras como foi o Grupo do Tório, um grupo do Instituto de Pesquisas Radioativas de Belo Horizonte que, entre 1955 e 1960, conseguiu desenvolver um projeto de um reator alimentado a tório. Após a finalização dos trabalhos, o grupo foi dissolvido (SARAIVA, 2007).

Em 1972, é assinado um contrato com a empresa estadunidense *Westinghouse* para a construção da primeira usina nuclear no Brasil, sendo escolhido o reator de Água Leve Pressurizada, do tipo PWR, alimentado por urânio enriquecido e por já ter sido comprovado tecnicamente. Entretanto, os EUA estabeleceram “amarras” no contrato, que praticamente inviabilizavam o crescimento da tecnologia nuclear no nosso país. Angra 1 foi um

⁷ Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20170903230822/https://www.osti.gov/atomicenergyact.pdf>> Acesso em: 4 jun. 2021.

empreendimento *turn key*⁸, não permitindo usufruir da implantação e transferência de tecnologia nuclear.

A situação de dependência e submissão brasileira tornou-se visível quando o fornecimento de combustível para ANGRA 1 foi suspenso pelos EUA em 1974, no auge da crise do petróleo, como instrumento de pressão para que o Brasil assinasse o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares (TNP), contrariando acordos previamente estabelecidos. A recusa brasileira obrigou a compra de combustível nuclear da Alemanha, o que gerou graves problemas técnicos na usina, levando o país a repensar sua política nuclear.

A partir daquele período, a CNEN iniciou os estudos de viabilidade para a implementação da tecnologia nuclear em larga escala no país. Assim, foi estabelecida uma estratégia de implantação de centrais nucleares, fabricação de reatores e o desenvolvimento de todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, objetivando dotar o Brasil de uma capacidade nuclear de eletricidade. O modelo escolhido foi o de transferência de tecnologia, o que pavimentou o caminho para o acordo nuclear com Alemanha.

É nesse contexto que se insere o acordo Brasil-Alemanha, assinado em 1975, que previa a construção de oito usinas, uma fábrica de reatores e uma planta de reprocessamento, além da mineração do urânio brasileiro. Durante os quase 30 anos de vigência do acordo, apenas a usina de Angra 2 foi construída com o apoio alemão inaugurada em julho de 2001, possui um reator Siemens a Água Pressurizada com potência elétrica de 1300 MW. Angra 3 teve suas obras iniciadas em 2010, fazendo parte do Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), mas em 2015 foram novamente paralisadas.

2.2 O Programa Paralelo Brasileiro

Nesta subseção serão abordados o Acordo Nuclear Brasil-Alemanha e o Programa Paralelo Brasileiro, que foram iniciativas que buscaram romper o cerceamento tecnológico imposto pelos EUA. A parceria estratégica com a Alemanha se mostrava promissora, já que os alemães se mostraram favoráveis à transferência de tecnologia de enriquecimento de urânio, chave do ciclo nuclear, ao contrário dos estadunidenses, que se recusavam em colaborar com o desenvolvimento da tecnologia nuclear nacional.

O processo de enriquecimento por ultracentrifugação é usado por quase todos os países

⁸ Modalidade de aquisição em que um fornecedor realiza a obra do início ao fim e recebe pelo projeto. Teoricamente tornasse o serviço fica mais rápido e prático. Porém, cria-se uma dependência total da empresa. Fonte: <<https://www.sienge.com.br/blog/turn-key/>>. Acesso em: 4 jun. 2021.

que utilizam usinas nucleares. Entretanto, o Consórcio UREMCO, formado pela Alemanha, Inglaterra e Holanda, não aprovou a transferência da tecnologia por ultracentrifugação ao Brasil, oferecendo em seu lugar a tecnologia *jet-nozzle*, caracteristicamente incipiente, somente demonstrada em laboratório e não comprovada comercialmente (DANTAS, 2018).

Para o desenvolvimento dessa tecnologia, foram montados vários laboratórios, diversos equipamentos foram comprados e milhares de pessoas foram treinadas para tentar completar a pesquisa. Entretanto, o processo por *jet-nozzle* era altamente complexo e totalmente inviável para os fins que o Brasil desejava. A opção por essa tecnologia revelou-se inapropriada para o Brasil, pois muitos recursos foram investidos neste empreendimento sem nenhum resultado prático, perdendo praticamente todas as vantagens do acordo nuclear realizado com a Alemanha.

É nesse cenário que, em 1979, o então Capitão de Fragata Othon Luiz Pinheiro inicia o Programa Nuclear Paralelo (PNP), capitaneado pela Marinha e apoiado pelo IPEN/CNEN-SP (antigo IEA), com o objetivo de desenvolver um submarino nuclear. Esse programa teve como prioridade o desenvolvimento e o domínio do ciclo do combustível nuclear pelo Brasil, já que a tecnologia anteriormente ofertada se mostrara inviável. Das experiências da década de 80, destaca-se a implantação do complexo de ARAMAR, sob a área de influência da MB, que obteve grande sucesso (SARAIVA, 2007).

O PNM foi desenvolvido como uma resposta para a demanda estratégica do Brasil de possuir submarinos com propulsão nuclear, com tecnologia genuinamente nacional e independente, ou seja, todo desenvolvimento deveria ser autóctone. Esse empreendimento foi dividido em duas vertentes: o domínio do ciclo do combustível nuclear e o desenvolvimento de uma planta nuclear de propulsão naval.

As ultracentrífugas começaram a ser desenvolvidas em fevereiro de 1980. Já no ano seguinte, foi construída a primeira ultracentrífuga no país sendo um passo concreto rumo a independência tecnológica nuclear brasileira. Em 1982, foi realizada a primeira operação de enriquecimento isotópico de urânio e, em 1984, conseguiu-se a primeira operação de enriquecimento pelo sistema de cascata, sendo um marco para a tecnologia brasileira. O enriquecimento do urânio em escala laboratorial foi alcançado em 1988. Dez anos depois, em 1998, essa tecnologia foi testada com sucesso em escala pré-industrial (DANTAS, 2018a).

O segundo objetivo do PNM é o LABGENE que se encontra em pleno desenvolvimento no Brasil. Dessa forma, cabe destacar as seguintes entregas para a sociedade brasileira advindas das aplicações de uso dual proporcionadas por esse Programa: tecnologia para a produção de combustível nuclear destinado à geração de energia elétrica e à propulsão naval;

desenvolvimento de um reator do tipo *Pressurized Water Reactor* (PWR), com potência térmica de 48MW, com capacidade de gerar energia elétrica suficiente para iluminar uma cidade de 20 mil habitantes; e desenvolvimento e manutenção do RMB, que proporcionará autonomia nacional na produção de radioisótopos e radiofármacos, além de aumentar a capacidade em pesquisa de técnicas nucleares (DANTAS, 2018b).

Em 4 de setembro de 1987, o Presidente José Sarney tornou público o domínio da tecnologia do enriquecimento de urânio pelo processo de ultracentrifugação desenvolvido totalmente no Brasil, coordenado pela CNEN, executado em ARAMAR e com a participação do IPEN. Às vésperas da promulgação da Constituição Federal de 1988, todas as atividades nucleares nacionais foram oficializadas e levadas ao conhecimento da sociedade brasileira pelo Decreto-Lei nº 2.464 de 31 de agosto de 1988, unificando o PNP ao PNB (SARAIVA, 2007, p. 244).

Segundo José Roberto Rogero, diretor de materiais do IPEN, atualmente o Brasil domina o ciclo do enriquecimento do combustível para reatores nucleares de pesquisa, estando a tecnologia para reatores de potência pronta para a industrialização, que deve ser feita pelas Indústrias Nucleares do Brasil (INB), contando com a transferência da tecnologia desenvolvida pela Marinha para o enriquecimento de urânio a ser usado como reator de potência (3,2%) e reator de pesquisas (20%) (SARAIVA, 2007, p. 95).

2.3 Fundamentação Teórica

Nesta subseção serão verificadas as principais documentações de alto nível do país, pinçando os aspectos que são de interesse para este trabalho, bem como serão apresentadas as salvaguardas que regem as atividades nucleares brasileiras.

2.3.1 Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN)

O LBDN relata que o Brasil está entre os principais países que dominam a tecnologia nuclear, com destaque para as aplicações em geração de energia, nas áreas médica e industrial. Além disso, enfatiza que o país detém o conhecimento de todo o processo de produção do combustível nuclear e possui jazidas de urânio em quantidade suficiente para as próprias demandas.

O país tem como principal objetivo a consolidação tecnológica da indústria nuclear como um segmento de ponta, essencial ao desenvolvimento nacional, considerando que o uso da tecnologia nuclear esteja voltado exclusivamente para aplicações pacíficas. Esse setor industrial funciona como indutor de inovações tecnológicas com aplicações civis, dado o

caráter dual das tecnologias envolvidas.

O documento menciona que atualmente a MB fornece centrífugas de processamento de combustível para as INB e que o propósito maior do PNM é a construção do reator para o submarino convencional brasileiro de propulsão nuclear, o qual elevará consideravelmente a capacidade de vigilância e defesa no Atlântico Sul. O LBDN deixa claro que somente a propulsão do submarino será nuclear, o que é expressamente permitido pelo acordo assinado com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA).

O PNM reflete: o desenvolvimento do ciclo de combustível; a construção e validação do Laboratório de Geração de Energia Núcleo Elétrica (LABGENE); a construção de um protótipo de reator tipo PWR (Água Leve Pressurizada), base para o reator do primeiro Submarino de Propulsão Nuclear Brasileiro (SNBR); o fortalecimento do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP). Com isso, o PNM e o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB) estão intimamente ligados. A exequibilidade do PROSUB depende do desenvolvimento do sistema de propulsão nuclear, foco do PNM.

De acordo com o LBDN,

somente a propulsão do submarino será nuclear, o que é expressamente permitido pelo acordo assinado com a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). Todos os seus armamentos serão convencionais, em razão do compromisso constitucional do Brasil com o uso pacífico desta energia, reafirmado em instrumentos internacionais, como o TNP; regionais, como o Tratado de Tlatelolco; e bilaterais, como o Brasil-Argentina – ABACC (BRASIL, 2020, p.47).

2.3.2 Política de Defesa Nacional

A PDN fixa os objetivos da Defesa Nacional e orienta o Estado sobre o que fazer para alcançá-los. Uma Defesa moderna é capaz de atender às necessidades de uma nação repleta de riquezas e inserida em um mundo turbulento e imprevisível como o atual (BRASIL, 2012). Assim, a defesa do país é inseparável do seu desenvolvimento, fornecendo-lhe o indispensável escudo.

Dessa forma, para que o desenvolvimento e a autonomia nacional sejam alcançados é essencial o domínio, crescentemente autônomo, de tecnologias sensíveis, principalmente nos estratégicos setores espacial, cibernético e nuclear.

Em relação ao seu ambiente regional, o Brasil visualiza um entorno estratégico que extrapola a região sul-americana e inclui o Atlântico Sul e os países limítrofes da África, assim como a Antártica. O fato de que a América do Sul esteja distante dos principais focos mundiais de tensão e livre de armas nucleares, sendo, portanto, uma região relativamente pacífica, corrobora o posicionamento do Brasil em deixar claro e ressaltar o direito de fazer o uso da

tecnologia nuclear apenas para fins pacíficos.

A PDN enfatiza a necessidade da manutenção das FFAA aparelhadas e atualizadas, com ênfase no apoio à ciência e à tecnologia para o desenvolvimento da indústria nacional de defesa, visando à redução da dependência tecnológica e à superação das restrições unilaterais de acesso a tecnologias sensíveis.

Dentre as suas orientações, vem ao encontro deste trabalho:

A capacitação da indústria nacional de defesa, incluindo o domínio de tecnologias de uso dual, o que é fundamental para se alcançar o abastecimento demandado de produtos de defesa;

os setores espacial, cibernético e nuclear são estratégicos para a Defesa do país; devem, portanto, ser fortalecidos; e

é prioritário assegurar continuidade e previsibilidade na alocação de recursos para permitir o preparo e o equipamento adequado das FFAA.

2.3.3 Estratégia Nacional de Defesa

A END é inseparável da estratégia nacional de desenvolvimento. Esta motiva aquela. Aquela fornece escudo para esta. Cada uma reforça as razões da outra. Um projeto forte em defesa favorece um projeto forte de desenvolvimento, sendo um dos princípios a independência nacional alcançada pela capacitação tecnológica autônoma, inclusive nos estratégicos setores espacial, cibernético e nuclear. Não é independente quem não tem o domínio das tecnologias sensíveis, tanto para a defesa, como para o desenvolvimento (Brasil, 2012).

Faz parte dessa Estratégia, a diretriz de fortalecer os três setores de importância estratégica: o espacial, o cibernético e o nuclear, esses setores transcendem a divisão entre desenvolvimento e defesa, entre o civil e o militar.

capacitar a Base Industrial de Defesa, segundo eixo estruturante da END, para que conquiste autonomia em tecnologias indispensáveis à defesa, buscando parcerias com outros países, com o propósito de desenvolver a capacitação tecnológica e a fabricação de produtos de defesa nacionais, de modo a eliminar, progressivamente, a dependência de serviços e produtos importados, priorizando o desenvolvimento de capacitações tecnológicas independentes.

A END orienta que a tecnologia nuclear deve ser desenvolvida, observando-se as seguintes iniciativas:

completar, no que diz respeito ao programa de submarino de propulsão nuclear, a nacionalização completa e o desenvolvimento em escala industrial do ciclo do combustível

(inclusive a gaseificação e o enriquecimento isotópico) e da tecnologia de construção de reatores, para uso exclusivo do Brasil;

acelerar o mapeamento, a prospecção e o aproveitamento das jazidas de urânio;

aprimorar o potencial de projetar e construir termelétricas nucleares, com tecnologias e capacitações que acabem sob domínio nacional, ainda que desenvolvidas por meio de parcerias com Estados e empresas estrangeiras, como forma de estabilizar a matriz energética nacional, ajustando as variações no suprimento de energias renováveis, sobretudo a energia de origem hidrelétrica; e

aumentar a capacidade de usar a energia nuclear em amplo espectro de atividades.

2.3.4 Política Nuclear Brasileira (Decreto nº 9.600, de 5 de dezembro de 2018)

Nas últimas décadas, o progresso da ciência, da tecnologia e da inovação fomentou o emprego da tecnologia nuclear em diversos segmentos da indústria, da agricultura, do meio ambiente e, especialmente, da medicina, além do conhecido aporte de geração de energia limpa e firme à base da matriz energética nacional, permitindo inclusive, o aumento da eficiência e da eficácia nesse segmento.

O Brasil ocupa posição bastante favorável no que se refere ao potencial para emprego da tecnologia nuclear. O país detém a sétima reserva mundial de urânio⁹, com apenas um terço do seu território prospectado, e domina a tecnologia do ciclo de fabricação do combustível nuclear. EM seu Artigo 2º, a Política define o Programa Nuclear Brasileiro (PNB) como: “conjunto de projetos e atividades relacionados com a utilização, para fins pacíficos, da energia nuclear sob a orientação, o controle e a supervisão do Governo Federal”.

Sobre os princípios dessa Norma explicitados em seu Artigo 3º, destaca-se: o uso da tecnologia nuclear para fins pacíficos, já previsto na CF/88; aceitação dos acordos, convenções e tratados dos quais o Brasil faz parte; a independência tecnológica relativa ao ciclo do combustível nuclear e o emprego das tecnologias nucleares como alavanca para o desenvolvimento nacional e o bem-estar da sociedade brasileira.

Em relação as diretrizes, a Política sinaliza para a busca da independência tecnológica; o incentivo à agregação de valor em toda a cadeia produtiva da área nuclear nacional, com destaque aos produtos destinados a exportação e o incentivo à sustentabilidade econômica dos projetos do setor nuclear brasileiro.

⁹ O Brasil detém 5% das reservas mundiais, conforme pesquisa da *World Nuclear Association*: <<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium.aspx>>. Acesso em 5 jun. 2021.

Sobre os objetivos, em seu Artigo 5º, o Documento estabelece a manutenção da tecnologia nuclear no País; o atendimento futuro sobre o fornecimento de energia limpa e firme, através da geração nucleoeletrica; o incentivo à produção nacional de minérios nucleares e seus subprodutos; autonomia na produção do combustível nuclear em escala industrial, com todas as etapas de seu ciclo, atendendo a demanda interna; a autossuficiência nacional na produção e no fornecimento de radioisótopos e a sua exportação.

A Política estabelece objetivos específicos para o setor de mineração nuclear e a indústria do setor nuclear, respectivamente, em seus Artigos 6º e 7º. Em relação a mineração, o Documento prevê o estímulo ao levantamento geológico, visando a identificação e a ocorrência de minerais nucleares no território nacional, além disso, estabelece o atendimento integral da demanda interna por esses minerais.

Especificamente sobre a indústria nuclear, o Documento reforça o desenvolvimento e a manutenção de todas as etapas do ciclo do combustível nuclear em escala industrial; ressalta o atendimento das demandas de material nuclear e de combustível nuclear através da produção nacional e a promoção do desenvolvimento da indústria brasileira para a produção de radioisótopo e de radiofármacos.

2.3.5 Salvaguardas do Programa Nuclear Brasileiro

Salvaguardas são atividades realizadas pela AIEA com o objetivo de verificar se um Estado estaria violando seus compromissos internacionais de não desenvolver programas de armas nucleares. Dessa forma, o TNP e outros tratados internacionais contra a proliferação de armas nucleares, como o Tratado de Proibição de Armas Nucleares na América Latina (Tratado de Tlatelolco) delegam à AIEA estas atividades de inspeção.

Essas salvaguardas da AIEA, no contexto da não-proliferação nuclear, funcionam como uma medida de confiança e um mecanismo de alerta antecipado que aciona outras respostas da comunidade internacional, em especial resoluções do Conselho de Segurança da ONU, quando houver necessidade. Dessa forma, estas medidas buscam contabilizar e controlar os materiais nucleares utilizados pelas instalações nucleares (reatores e usinas de enriquecimento) dos países signatários.

A Constituição Federal do Brasil (CF/88) veda ao país a compra, a posse ou o desenvolvimento de armas nucleares, pois toda atividade nuclear desenvolvida em território nacional deverá ser realizada para fins pacíficos e com o aval do Congresso Nacional. O seu Artigo 21, inciso XXIII, letra a), deixa clara essa assertiva: “toda atividade nuclear em território nacional somente será admitida para fins pacíficos e mediante aprovação do

Congresso Nacional”.

No caso específico do Brasil, são aplicadas salvaguardas abrangentes, aplicáveis aos países não-nuclearmente armados que são signatários do TNP. O INFCIRC-435, acordo associado ao tratado “Quadripartite”, assinado pela AIEA, Agência Brasil-Argentina de Contabilidade e Controle (ABACC), entre Brasil e Argentina, entrou em vigor em 1994, quando os dois países não haviam firmado nem ratificado o TNP.

Em 1997 e 1999, Argentina e Brasil ratificaram o TNP. Como já tinham com a AIEA um acordo de salvaguardas abrangentes, o INFCIRC-435, não foi necessário assinar outro acordo, sendo esse usado para os fins de atendimento às obrigações do TNP.

Segundo Guimarães (2011), o acordo INFCIRC-435 substituiu os antigos acordos firmados pelo Brasil segundo o modelo INFCIRC-66 da AIEA (salvaguardas parciais, de aplicação a instalações específicas), usados para importação de sistemas, como Angra 1 e as instalações contratadas dentro do escopo do Acordo Nuclear Brasil-Alemanha (Angra 2, Fábrica de Elementos Combustíveis, dentre outras).

Além disso, o Brasil tem especial interesse na paz e segurança do Atlântico Sul, sendo uma área estratégica relevante e de vital importância tanto para o comércio nacional quanto mundial. Por isso, dedica especial atenção à construção de um ambiente cooperativo no Atlântico Sul, sob a égide da Zona de Paz e Cooperação do Atlântico Sul (ZOPACAS), criada pela ONU em 1986, com o propósito principal de evitar a introdução de armas nucleares ou outras de destruição em massa na região.

3. URÂNIO – MINERAÇÃO E BENEFICIAMENTO

Neste capítulo, apresenta-se o panorama geral da mineração de urânio no país, mostrando as potenciais regiões de sua ocorrência, as minas ativas e o potencial de crescimento, a possibilidade do capital privado participar do setor de mineração e os principais gargalos que precisam ser superados para que a demanda nacional por combustível nuclear seja atendida.

Conforme publicado no Site do Governo Federal¹⁰, o Brasil está retomando as atividades de mineração de urânio através da inauguração da Mina do Engenho, no município de Caetité-BA, que estavam paralisadas desde 2015. Ainda de acordo com o Site, o Ministério de Minas e Energia relata uma capacidade inicial de produção de 260 toneladas de concentrado de urânio por ano. Entretanto, a expectativa é de uma produção de 1.400 toneladas por ano, até 2025. Já a partir de 2030, o potencial de produção aumenta para 2.400 toneladas por ano, com a previsão da entrada em operação uma nova mina no município de Santa Quitéria-CE.

O cenário atual do setor de mineração é de dependência externa a INB¹¹, concluiu o processo licitatório que permitirá a importação de 650 toneladas de urânio na forma de UF₆ (hexafluoreto de urânio) natural. A *National Atomic Company Kazatomprom Joint Stock Company*, da República do Cazaquistão, fornecerá o combustível que será destinado à geração de energia elétrica pelas usinas de Angra I e Angra II.

Segundo o Relatório Integrado (INB, 2019), o início dos serviços de lavra, na Mina do Engenho, estão previstos para 2020, após a liberação das Licenças por parte dos Órgãos Reguladores (CNEN e IBAMA). A empresa estima produzir em 2020, 60 toneladas de concentrado de urânio do minério oriundo da referida Mina.

Em relação ao ciclo do combustível nuclear, o Brasil é dependente do exterior devido a insuficiência da capacidade instalada para o enriquecimento isotópico do urânio, permitindo atender somente 60% das necessidades da usina de Angra I. Assim, o urânio é enviado para o exterior para passar pelas etapas de conversão e enriquecimento¹², retornando ao país para a produção do elemento combustível.

O território brasileiro apresenta a sétima maior reserva de urânio do planeta, colocando o país em uma posição de destaque no cenário internacional. Esses recursos são estimados na

¹⁰ Site Governo do Brasil. <<https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/12/brasil-retoma-producao-de-uranio>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

¹¹ Site IPEN. <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=13442>. Acesso em: 16 mar. 2021.

¹² Site Indústrias Nucleares do Brasil. <<http://www.inb.gov.br/Contato/Perguntas-Frequentes/Pergunta/Conteudo/o-brasil-exporta-uranio?Origem=426>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

ordem de 244.788 toneladas de concentrado de urânio (U_3O_8)¹³, distribuídos entre os estados da Bahia (municípios de Lagoa Real e Caetité), do Ceará (município de Santa Quitéria) e outros. Além disso, essas projeções podem ser ainda maiores, já que menos de um terço do solo brasileiro foi prospectado. Nesta assertiva, o Norte brasileiro pode abrigar mais de 300 mil toneladas de urânio, em áreas como Pitinga e Rio Cristalino, ambas no estado do Amazonas.

A tabela a seguir, mostra o resultado contabilizado de urânio contido por região e o potencial de mineralização do Estado do Amazonas, ainda não contabilizados como Recursos.

Toneladas de U_3O_8 (Concentrado de Urânio)

RECURSOS	MEDIDOS E INDICADOS	INFERIDOS	TOTAL
Caetité	66.672	32.392	99.064
Santa Quitéria	75.010	4.614	79.624
Outros	39.500	26.600	66.100
Total	181.182	63.606	244.788

Potencial: Pitinga (AM) + 150.000 t U_3O_8 e Rio Cristalino (AM) + 150.000 t U_3O_8

FIGURA 2 – Concentrado de Urânio por região

Fonte: Relatório Integrado das Indústrias Nucleares do Brasil (INB, 2019, p. 43)

Segundo Carlos Freire Moreira, Presidente da INB¹⁴, “a retomada da mineração e do beneficiamento de urânio é um aspecto importante na busca pela autossuficiência econômica da empresa” (INB, 2019). Para isso, foram definidas no Planejamento Estratégico de longo prazo da INB (2017-2026) 15 (quinze) estratégias prioritárias, das quais as três primeiras estão relacionadas à mineração de urânio:

- 1 - Desenvolvimento da Lavra a Céu Aberto – Mina do Engenho;
- 2 - Desenvolvimento da Lavra da Mina Subterrânea – Mina Cachoeira e Ampliação da Capacidade de Produção; e
- 3 - Desenvolvimento da Mina de Santa Quitéria.

Na Unidade de Caetité/BA, encontra-se a única mineração de urânio em funcionamento no país. Esta unidade tem capacidade de produzir cerca de 400 toneladas/ano, podendo dobrar sua produção para 800 toneladas com a lavra da mina do Engenho e da mina subterrânea. A autorização já foi concedida pela CNEN em dezembro de 2019. Em janeiro de 2020, o Instituto

¹³ Site Indústrias Nucleares do Brasil. <<https://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ur%C3%A2nio/Recursos>>. Acesso em: 16 mar. 2021.

¹⁴ Empresa estatal de economia mista que exerce, em nome da União, o monopólio da cadeia produtiva do urânio (“Ciclo do Combustível Nuclear”, a produção e a comercialização de materiais nucleares). Empresa vinculada ao Ministério de Minas e Energia (MME).

Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) renovou a Licença de Operação da Unidade, incluindo a lavra a céu aberto da Mina do Engenho, bem como a planta de beneficiamento do minério.

Para aumentar a produção de urânio, a INB formou, em parceria com a Fosfatados do Norte-Nordeste S.A. – FOSNOR (empresa do grupo Galvani), o Consórcio Santa Quitéria para desenvolver a jazida de Itataia, no município de Santa Quitéria/CE. O produto principal será o fosfato para fertilizantes e ração animal, reforçando o agronegócio na região Nordeste, e o coproduto será o concentrado de urânio para geração de energia elétrica. Quando em operação, prevista para 2026, a unidade produzirá anualmente 1.600 toneladas de concentrado de urânio.

É esperada, através do projeto Santa Quitéria, a geração de 800 empregos diretos e mais 2,2 mil empregos indiretos, além do impulso para a criação de um polo regional de desenvolvimento no interior do Ceará, que dinamizará a economia local. Além disso, o empreendimento irá contribuir para um aumento de 10% na produção brasileira de fertilizantes fosfatados. Dessa forma, trata-se de um projeto estratégico para a região e para o país, com o aumento da oferta de insumos para a agricultura e pecuária, hoje em grande parte importados, contribuindo para a diminuição dos custos de produção do agronegócio e, por consequência, a oferta de alimentos mais baratos na mesa dos brasileiros (DANTAS, 2014b).

Atualmente o Brasil só consegue atender 60% da necessidade de Angra 1 com urânio enriquecido (INB, 2019, p. 45). O retorno da mineração (exploração, produção e enriquecimento), através das duas minas já mencionadas, atenderá as demandas de Angra I, II e III, podendo, ainda, gerar excedentes de produção para exportação¹⁵, além da geração de empregos e da distribuição de renda, típica das atividades de mineração. A autossuficiência na produção de combustível nuclear promoverá uma diminuição nos custos de operação das usinas nucleares, aumentando a competitividade das tarifas de energia e promovendo a democratização do acesso à energia elétrica pelas pessoas, o que mostra um relevante alcance social do setor da área nuclear.

Na esteira do setor de mineração, as regiões exploradas são impactadas por uma série de iniciativas que influenciam diretamente o bem-estar das comunidades locais. Como exemplo, a parceria estabelecida entre a Prefeitura de Caetité-BA e a INB para a construção de uma adutora que levará água para a comunidade de Maniaçu-BA, beneficiando cerca de cinco mil pessoas. Outras iniciativas importantes são feitas nas áreas de educação e cultura, como o

¹⁵ Diário do Nordeste: <<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/colunistas/victor-ximenes/apos-retomada-da-producao-de-uranio-no-brasil-projeto-santa-quitiera-e-peca-chave-para-o-governo-1.3024356>> Acesso em: 19 mar. 2021.

projeto Saber em parceria com o SENAI, com o objetivo de preparar mão de obra para o mercado de trabalho nas regiões nas quais a INB atua.

Pode-se afirmar que o setor de mineração de urânio possui um vasto potencial de crescimento e apresenta uma ímpar janela de oportunidades. O domínio de todo o ciclo do combustível nuclear, somado às grandes reservas de urânio em solo brasileiro, possibilita a exportação de produtos, da cadeia produtiva do urânio, de alto valor agregado. Nesse sentido, o Brasil já exportou compostos beneficiados de urânio para a Argentina.

Segundo João Tupinambá¹⁶, aproveitando importante alternativa, a INB vem trabalhando junto com o IPEN e o CTMSP na expectativa de avançar na produção e exportação de urânio metálico, enriquecido isotopicamente a 20%, inicialmente também para a Argentina. Trata-se de um produto de alto valor agregado, utilizado em reatores de pesquisa. O urânio metálico será, muito provavelmente, a matéria prima dos combustíveis nucleares dos reatores mais avançados (FGV ENERGIA, 2019).

Ainda segundo Tupinambá (*Ibidem*), a exploração e a produção de compostos de urânio são um grande negócio no mundo, movimentando anualmente recursos da ordem de US\$ 4 bilhões em urânio e US\$ 9 bilhões em combustível. Uma pequena participação do Brasil nesse mercado traria resultados expressivos ao país. Algumas previsões projetam um consistente aumento¹⁷ na demanda por urânio nos próximos anos, o que acarretará em uma redução nos estoques e a tendência de aumento no preço deste minério.

Aumentar a capacidade de enriquecimento de urânio significa obter a independência do país em relação ao exterior. Assim, está sendo construída na Fábrica de Combustíveis Nucleares (FCN)¹⁸, a Usina Comercial de Enriquecimento de Urânio (UCEU)¹⁹, projeto a ser construído em duas etapas. A 1ª etapa, prevista para ser concluída em 2021, com a incorporação de 10 (dez) cascatas de ultracentrífugas, possibilitará atender 80% das demandas de Angra 1. Já a 2ª fase prevê a entrada em operação de mais 30 (trinta) cascatas, o que permitirá atender as necessidades de Angra 1, 2 e 3.

A expansão da cadeia produtiva do urânio no país está diretamente ligada às tecnologias nucleares desenvolvidas pela MB. O enriquecimento do urânio por ultracentrifugação foi desenvolvido pelo CTMSP, em parceria com o IPEN. O combustível nuclear é a chave para o

¹⁶ Especialista Superior de Estratégia Nuclear das Indústrias Nucleares do Brasil.

¹⁷ InfoMoney: <<https://www.infomoney.com.br/colunistas/investimentos-internacionais/menor-produtora-de-uranio-do-mundo-acredita-que-transicao-de-precos-comeca-agora/>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

¹⁸ INB: <<http://www.inb.gov.br/A-INB/Onde-estamos/Resende>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

¹⁹ INB: <<http://www.inb.gov.br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear/Enriquecimento>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

desenvolvimento de qualquer programa nuclear no mundo; sem o domínio dessa tecnologia é impossível obter independência ou soberania tecnológicas sobre este setor de grande portabilidade de futuro para a sociedade brasileira.

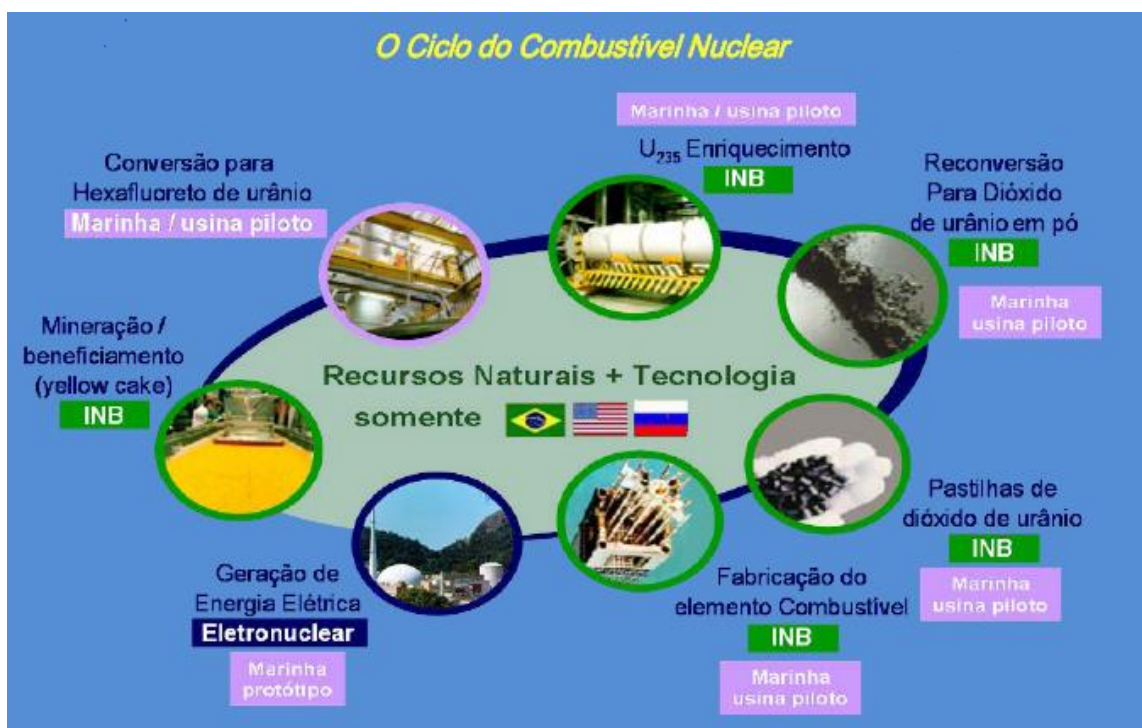


Figura 3 - Ciclo do combustível nuclear

Fonte: IBRACON, 56º Congresso Brasileiro de Concreto (2014-IBRACON, ISSN 2175-8182)

Observando a figura acima e de acordo com o Plano Nacional de Energia, elaborado pelo Ministério de Minas e Energia com horizonte de 2050 (PNE 2050)²⁰, somente uma única etapa do ciclo do combustível (a conversão e parte do enriquecimento) tem sido realizada no exterior por questões de escala. Segundo Relatório de Gestão (CNEN, 2018), o País gasta na ordem de US\$ 50 milhões/ano com os serviços de enriquecimento contratados no exterior para atender a sua demanda interna.

Assim, destaca-se a parceria estratégica entre a MB e INB na construção da UCEU, em que o CTMSP é responsável pela fabricação e montagem das ultracentrífugas, máquinas responsáveis por realizar o enriquecimento isotópico²¹ do urânio. Já a empresa Amazônia Azul Tecnologias de Defesa S.A. (AMAZUL)²² ficou incumbida do detalhamento do Projeto Básico e das Planilhas de Quantitativos para implantação da 2ª Fase da UCEU (INB, 2019, p. 97).

²⁰ PNE 2050. <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em 5 jun. 2021.

²¹ INB: <<http://www.inb.gov.br/Contato/Perguntas-Frequentes/Pergunta/Conteudo/o-que-e-o-enriquecimento-como-ele-e-feito?Origem=1068>> Acesso em: 20 mar. 2021.

²² AMAZUL: <<https://www.amazul.mar.mil.br/amazul-ira-elaborar-projeto-usina-enriquecimento-uranio>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

A figura a seguir mostra o custo de 1 kg de urânio, como combustível UO_2 , tendo como base de estudo o preço do *spot* do U_3O_8 a US\$ 40,5/libra (FGV PROJETOS, 2013, p. 29). Os dados abaixo demonstram que em 2013 as etapas de conversão e enriquecimento, com dependência do exterior, representavam 54% nos custos de produção do combustível nuclear para as usinas de Angra 1 e 2.

URÂNIO	8,9 kg de U_3O_8 x US\$ 90	US\$ 801	(35%)
CONVERSÃO	7,5 kg de urânio x US\$ 13	US\$ 98	(4%)
ENRIQUECIMENTO	7,3 SWU x US\$ 155	US\$ 1,132	(50%)
FABRICAÇÃO DO COMBUSTÍVEL	por kg	US\$ 240	(11%)
TOTAL (APROXIMADO)		US\$ 2,271	

Figura 4 - Custo de 1 kg de urânio como combustível (UO_2)

Fonte: Fundação Getúlio Vargas, O futuro energético e a geração nuclear (FGV PROJETOS, nº 19, 2013, p. 29)

Projetos de mineração são de longo prazo e apresentam elevados riscos. Se o Brasil almeja se tornar autossuficiente e um exportador de componentes de urânio, é imperioso que se implemente um novo marco legal. A CF/88 assevera, no inciso XXIII do artigo 21, que compete à União: “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”. Portanto, esse dispositivo constitucional inviabiliza a participação do capital privado no setor de mineração de urânio no país.

Dessa forma, houve um cuidado do legislador em separar na Constituição Federal toda a atividade nuclear executada em território brasileiro, deixando claro o tratamento diferenciado ao definir como monopólio da União a pesquisa, a lavra, o enriquecimento, o reprocessamento, a industrialização e o comércio de minérios e minerais nucleares e seus derivados, com exceção dos radioisótopos cuja produção, comercialização e utilização poderão ser autorizadas sob regime de permissão.

Com isso, qualquer intenção de alteração na temática da energia nuclear no Brasil, de modo a respaldar e dar segurança a exploração da geração termonuclear por particulares depende, necessariamente, de uma emenda à Constituição Federal, possibilitando flexibilizar o monopólio da União para essas atividades.

A modernização do marco regulatório, passando pela flexibilização do monopólio, significa estabilidade jurídica, previsibilidade e segurança aos investidores. A entrada do capital privado nesse setor pode significar garantia de recursos e maior flexibilidade operacional para

a retomada da produção nacional de urânio. Melhorar o ambiente para negócios do setor nuclear significará desenvolvimento econômico e social para o país.

Atualmente a Lei nº 6.189²³, de 16 de dezembro de 1974, permite o estabelecimento de uma Parceria Público-Privada, em uma mina, desde que a quantidade de urânio existente seja menor que a quantidade de outros minérios, conforme prevê o § 2º do Artigo 4º (Incluído pela Lei nº 14.118, de 2021):

Verificada a ocorrência de urânio ou de tório em quantidades de valor econômico inferior ao da substância mineral pesquisada ou lavrada, a autorização de pesquisa poderá ser concedida ou mantida, desde que sejam observadas as condições específicas de segurança, de prazo, de idoneidade e de capacidade técnica e financeira do responsável, entre outras estabelecidas em regulamento.

Na prática, a iniciativa privada já atua neste setor. O Consórcio Santa Quitéria é um exemplo dessa parceria, pois o fosfato produzido permanece com a empresa e o urânio fica sob controle total da INB. Além disso, O Decreto nº 9.600, de 5 de dezembro de 2018, estabeleceu objetivos importantes tais como o XIII:

“desenvolver e manter todas as etapas do ciclo do combustível nuclear em escala industrial” e o VI (específico das indústrias do setor nuclear) “fomentar a competitividade das indústrias do setor nos mercados interno e externo”.

O Decreto flexibilizou o marco regulatório de modo favorável à diversificação de mercado para a INB, possibilitando a importação de material nuclear para beneficiamento e reexportação. O modelo em estudo pelo Governo para a conclusão de Angra 3, com aporte de capital privado, mas mantendo o controle estatal, também pode ser replicado na mineração de urânio, por exemplo (INB, 2019).

²³ http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6189compilada.htm

4. USO DUAL DAS TECNOLOGIAS NUCLEARES DESENVOLVIDAS PELO PNM

Nesta seção é apresentado um panorama das principais aplicações do uso pacífico das tecnologias nucleares de grande alcance social, com destaque para geração de energia elétrica, medicina nuclear, conservação de alimentos, agricultura e dessalinização. O grande leque de oportunidades que se apresenta à sociedade brasileira possui potencialidade de alterar profundamente as condições de bem-estar e de qualidade de vida das pessoas.

4.1 Geração de energia elétrica

Cada vez aumenta mais a necessidade nacional de se recorrer a fontes térmicas como carvão, gás, óleo diesel e petróleo para complementar a oferta de energia elétrica, de matriz predominante hídrica. As usinas hidrelétricas são responsáveis por 62% da matriz energética, fornecendo grande segurança ao sistema elétrico brasileiro.

Para Douglas Nóbrega, superintendente de Engenharia de Geração da Companhia Hidrelétrica do São Francisco (Chesf), a geração hidráulica está, aos poucos, deixando de ser preponderante no país, devido principalmente à irregularidade das chuvas e aos longos períodos de seca nas regiões Nordeste (NE) e Sudeste (SE). Nóbrega pontua que 12 anos de secas prolongadas no NE, impediram o reenchimento dos reservatórios. Além disso, situação parecida está no SE, porém menos crítica, já que esta região há 6 anos não reenche seus reservatórios (FREITAS, 2020).

O aproveitamento hidrelétrico ainda se mostra muito importante na ampliação de oferta de energia elétrica no país. Entretanto, a maior parte dos grandes projetos inventariados se concentram nas regiões hidrográficas da Amazônia e do Araguaia-Tocantins. Há alta sensibilidade socioambiental, em especial na região Amazônica, que possui metade de suas áreas legalmente protegidas. A figura abaixo mostra que 77% do potencial hidrelétrico inventariado apresenta algum tipo de sobreposição a áreas legalmente protegidas, como terras indígenas (TI), territórios quilombolas (TQ) ou unidades de conservação (UC).

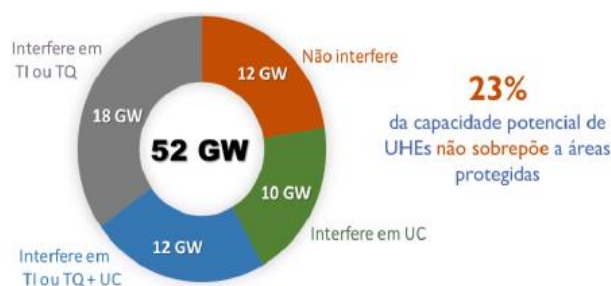


Figura 5 - Potencial Hidrelétrico Inventariado e Interferência em Áreas Protegidas.
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (PNE2050, p. 80)

Limitadas por restrições ambientais, as novas hidrelétricas construídas nas regiões Norte e Centro Oeste são do tipo “fio d’água”²⁴, cujos reservatórios não permitem o acúmulo de água nos períodos chuvosos para a geração de energia nos períodos secos. Esses desafios à construção de novas hidrelétricas descortinam um provável futuro de expansão das térmicas (nuclear, carvão e gás natural), gerando energia na base do sistema, para garantir a segurança energética do país.

A entrada crescente de fontes intermitentes e sazonais, como a solar e a eólica, não conseguem gerar a segurança necessária ao Sistema Interligado Nacional (SIN), pois são totalmente dependentes do clima, como a luz solar e a força dos ventos. Nessa assertiva, o SIN necessitará cada vez mais de novas fontes térmicas que complementem essa geração.

Os estudos do PNE 2050 apontam uma grande elevação do consumo potencial de energia. Dessa forma, será um desafio se preparar para o futuro em um cenário de expansão forte da demanda bruta, estabelecendo estratégias para o atendimento desta demanda. A figura abaixo apresenta um resumo das projeções de longo prazo e a magnitude deste desafio em expandir o setor elétrico nacional.



Figura 6 - Projeções de longo prazo

Fonte: Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN, AULA 1, 2020)

Apesar do sentimento social de insegurança associado à energia nuclear, em função da dimensão de alguns notórios acidentes ao longo da História, esta fonte geradora é responsável por 10% da produção global, além de ser a segunda maior fonte de energia de baixo carbono no mundo, atrás apenas da hidroeletricidade. São 442 reatores nucleares gerando energia em 30 países e 66 novos reatores em construção (FGV ENERGIA, 2016). Além disso, o Brasil é um

²⁴ Usinas hidrelétricas sem reservatório de regularização.

dos poucos países que domina o ciclo do combustível nuclear, com tecnologia desenvolvida pela MB, e ao mesmo tempo possui uma das maiores reservas de urânio do mundo.

A fonte nuclear gera segurança e flexibilidade ao SIN, pois garante o provimento contínuo de energia (90% de fator de capacidade). Por ser capaz de operar na base, permite que os reservatórios das hidrelétricas exerçam como principal função a regulação das fontes renováveis intermitentes. Além disso, é uma fonte barata, mas de elevado investimento na construção das usinas, que se amortiza com a elevada vida útil dos reatores (cerca de 60 anos).

Ou seja, a fonte nuclear é uma fonte sustentável por ser a única térmica capaz de produzir eletricidade continuamente, sem emitir Gases do Efeito Estufa (GEE) e, ainda, ser um fator gerador de empregos durante a construção das usinas. Além disso, colabora para que o país possa cumprir seu compromisso de reduzir em 43%²⁵ as emissões de GEE. Com isso, no futuro, quando o mercado de carbono for regulamentado, as usinas termonucleares poderão vender serviços de capacidade e de abatimento de carbono, contribuindo nas análises de custo-benefício desses empreendimentos. Somados a isso, para cada 1000 MW de capacidade nuclear construídos, são gerados aproximadamente 20 mil postos de trabalho diretos e indiretos.

A complexidade dos novos empreendimentos somados a novas exigências de segurança e licenciamento, ampliaram o tempo de construção e aumentaram os custos dos novos projetos termonucleares. Assim, observa-se uma tendência internacional de construção em paralelo de duas usinas lado a lado, defasadas em 18 a 24 meses, contribuindo na economia de custo de construção (CAPEX), por meio do uso compartilhado de toda a infraestrutura de canteiro e mão de obra.

De acordo com os estudos prospectivos do PNE 2050, a inserção nuclear será acompanhada de uma redução expressiva dos atuais níveis de CAPEX, ao longo das próximas décadas, motivados pelos aperfeiçoamentos dos projetos de usinas nucleares. Com essa redução, a fonte nuclear aumenta sua participação na matriz energética nacional já que novas hidrelétricas com áreas de interferência não estarão disponíveis para expansão.

Deve-se levar em conta também as reduções de custos operacionais das termelétricas nucleares (OPEX), considerando que o Brasil possui o domínio sobre o ciclo de processamento do combustível. Assim, o Plano prevê que decréscimos da ordem de 45% a 50% no CAPEX e, no OPEX, podem levar a potência instalada total ao patamar de 10 GW a 23 GW em 2050.

²⁵ Contribuição Nacionalmente Determinada – NDC: compromisso de reduzir, em 2025, as emissões de GEE em 37% e, em 2030, a indicação de reduzir em 43%, tendo o ano de 2005 como referência (PNE 2050, p. 35).

Entretanto, o tempo requerido de licenciamento e construção, a capacidade de oferta de combustível nacional e a escala da indústria de fornecimento são fatores que balizam a expansão termonuclear, além do complexo de Angra, a 10 GW no lapso temporal do PNE 2050. Dessa forma, pode-se inferir que é possível a inserção competitiva da fonte nuclear no país desde que o CAPEX e/ou OPEX se reduzam de forma significativa das tendências atuais de evolução no horizonte do PNE 2050

Nesse cenário de desafios à expansão da geração nuclear, a conclusão de Angra 3 é estratégica para o Brasil. Sua entrada em operação é prioritária, pois representa um ganho de economia de escala significativo para as empresas que integram o PNB, trazendo racionalidade econômica às diversas etapas do ciclo do combustível nuclear, além de possibilitar no futuro a nacionalização de tecnologias em escala industrial. Além disso, tem o potencial para viabilizar a fabricação de combustível nuclear com excedentes para exportação.

Outro grande desafio a essa expansão está na necessidade de se criar um ambiente favorável para que os novos projetos tenham a oportunidade de participar em um mercado competitivo. Assim como explicitado no capítulo anterior, é preciso flexibilizar o monopólio da União na cadeia produtiva nuclear (CF, art. 21, XXIII). Além disso, é necessário definir modelos de Parceria Público-Privada (PPP) que tornem os empreendimentos atrativos e possibilite a expansão da fonte nuclear no país. O modelo em estudo pelo governo para a conclusão de Angra 3, com aporte de capital privado, mas mantendo o controle estatal, também pode ser replicado na mineração de urânio (INB, 2019).

Segundo o Ministro Bento Albuquerque²⁶,

não se trata de privatização, mas sim de uma flexibilização do monopólio estatal. Dessa forma, onde existir componentes minerais que sejam economicamente viáveis, e que contenham urânio na sua composição, a flexibilização se dará nesse ponto: o Estado explora o urânio e o privado explora a parte do componente não radiológico, não radioativo ao mineral. Já no caso de Caetité, que é uma mina só de urânio, a operação é toda do Estado. O que pode ser flexibilizado na operação seria manter o Estado dono do urânio e a operação dos serviços, maquinários e do investimento na infraestrutura possa ser privado mediante indenização. Isso deve aliviar o Estado do seu ônus de investimento.

Para Bruno Barreto²⁷, há consenso sobre a necessidade de criação de um novo modelo de empreendimento para Angra 3, cujo ponto crítico está em sua estrutura de capital, exclusivamente estatal. A situação da Eletrobrás e do Brasil não permite a continuidade do atual modelo. Para ele, a paralização de Angra 3 não se deu somente pela corrupção, mas também pela falta de recursos e pela incapacidade da empresa em apresentar garantias aos bancos

²⁶ CanalEnergia: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/729/729.pdf>>. Acesso em 26 out. 2021

²⁷ Presidente da Eletronuclear

financiadores. Barreto acredita que a solução para a obtenção de recursos é a adoção de um novo modelo societário com a participação da iniciativa privada (DANTAS, 2017, p. 21).

O PNE 2050 prevê uma expansão de 8 a 10 GW da matriz energética nacional. Nesse sentido, faz-se necessária a regulamentação do §6º do Artigo 225 da CF/88, o qual determina que as usinas que operem com reator nuclear deverão ter sua localização definida em lei federal. Sem essa regulamentação não poderão ser instaladas, inviabilizando projetos ou mesmo aumentando muito os indicadores CAPEX e OPEX, prejudicando a competitividade dessa fonte.

Merecem destaque neste capítulo, o desenvolvimento e a construção do LABGENE pela MB, sendo o propósito essencial do PNM com tecnologia exclusivamente nacional. Um empreendimento de uso dual e que servirá de base e de laboratório para outros projetos de reatores de potência no país. O LABGENE, por ser um reator modular, de pequeno porte, transportável e multipropósito, possui o potencial de induzir toda uma cadeia produtiva na indústria nuclear, formando um *cluster* nuclear, com empregos altamente qualificados e com produtos de elevado valor agregado, possibilitando ao Brasil participar em um mercado seletivo, dominado por poucos países.

O LABGENE habilitará o país à construção de pequenas centrais nucleares de geração de energia elétrica com até 1.000 megawatts²⁸. Essas centrais seriam muito úteis em redes que não são integradas ou são isoladas no Brasil, como é o caso das Regiões da Amazônia e do Nordeste. Roraima não está ligada ao SIN (sendo dependente do fornecimento de energia venezuelana), assim como regiões pobres do semiárido nordestino. Além disso, destaca-se o papel social dessas usinas, levando desenvolvimento e dignidade a áreas remotas, mitigando apagões (como os ocorridos no Amapá em 2020)²⁹ e diminuindo as emissões dos GEE por meio da substituição das termelétricas de combustíveis fósseis, comuns nessas regiões.

A qualidade de vida está intimamente relacionada com o consumo de energia, especialmente nos estágios iniciais de desenvolvimento de um país. Dessa forma, o acesso à energia viabiliza melhorias na expectativa de vida, na escolaridade e na renda da população. Dessa forma, a disponibilidade de energia elétrica é um requisito para esta melhoria, não uma consequência (SILVA & GUIMARÃES 2012 *apud* FGV ENERGIA, 2016).

Ampliar o acesso à energia, elevando o consumo per capita, é um indicador da disponibilidade de serviços essenciais à população em áreas como saúde, habitação,

²⁸ Site Pesquisa – PAPESP. <<https://revistapesquisa.fapesp.br/o-submarino-que-da-luz>>. Acesso em: 5 abr. 2021

²⁹ Site G1: <<https://g1.globo.com/ap/amapa/noticia/2020/11/18/apagao-no-amapa-veja-a-cronologia-da-crise-de-energia-eletrica.ghml>>. Acesso em: 5 abr. 2021

saneamento, educação etc. Infere-se que há uma relação entre o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e o consumo de eletricidade *per capita*³⁰, conforme ilustra-se a seguir.

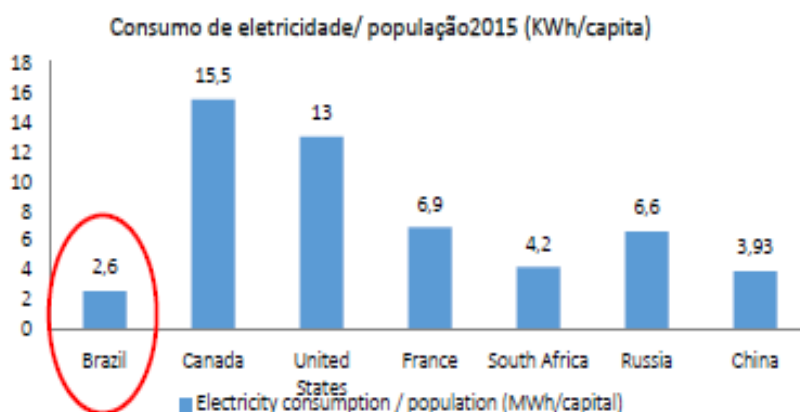


Figura 7 – Consumo *per capita* de eletricidade

Fonte: Associação Brasileira para Desenvolvimento de Atividades Nucleares (ABDAN, AULA 1, 2020)

4.2 Medicina nuclear

A medicina nuclear é a área da medicina onde são utilizados os radioisótopos, tanto em diagnósticos como em terapias. Ou seja, uma especialidade médica que se utiliza de elementos radioativos combinados com medicamentos (radiofármacos) ou isolados (radioisótopos), para realizar exames diagnósticos e tratamentos (MENDONÇA, 2019).

A medicina nuclear tem seu uso cada vez maior, em aplicações diagnósticas e terapêuticas, nas áreas de Oncologia, Cardiologia e Neurologia, além de prover tratamento em doenças do hipotireoidismo e dores ósseas. Dessa forma, essa especialidade se torna fundamental no diagnóstico de diversas enfermidades e no tratamento de vários tipos de câncer.

Este setor no país conta com 434 serviços de medicina nuclear (SMN) distribuídos por todo o território brasileiro. Os radiofármacos fornecidos pela CNEN possibilitam a realização de aproximadamente 2 milhões de procedimentos por ano, sendo que aproximadamente 70% contam com cobertura do Sistema Único de Saúde (SUS). Esse medicamento pode ser subdividido em dois grupos: os de meia vida, tempo de decaimento radioativo inferior a 2 horas e os de meia vida acima de duas horas (CNEN, 2018).

O primeiro grupo possibilitou um grande impulso à medicina nuclear no país a partir de 2006, com a quebra do monopólio estatal para a importação, produção e comercialização de radioisótopos de meia vida igual ou inferior a duas horas, utilizados na tomografia por emissão de pósitron, através da Emenda Constitucional (EC) nº 49, de 2006, permitindo a entrada de

³⁰ Associação Brasileira de Energia Nuclear: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/311/311.pdf>>. Acesso em: 5 abr. 2021

produtores privados neste segmento. Já no segundo grupo, destaca-se o tecnécio 99m, utilizado em mais de 80% dos procedimentos de medicina nuclear. Nestes casos, a produção permanece sob regime de monopólio da União, exercido pela CNEN.

O Brasil apresenta 4% da demanda mundial por molibdênio 99 (Mo-99). Entretanto, o número *per capita* de exames de medicina nuclear feitos no país é ainda 2,5 vezes menor do que na Argentina e 6 vezes menor do que nos EUA. Dessa forma, o segmento apresenta uma demanda potencial a ser atendida, sendo necessária a ampliação da capacidade de produção. Alguns insumos, com destaque ao Mo-99, são importados, o que torna a CNEN dependente do mercado externo, sujeitando-se à capacidade de fornecimento e às flutuações de preços do mercado internacional (CNEN, 2018).

Um único reator canadense era responsável pela produção de 40% da demanda mundial do radioisótopo Mo-99. Seu desligamento definitivo, ocorrido em outubro de 2016, devido ao esgotamento de sua vida útil, comprometeu o abastecimento mundial desse insumo. Esse tipo de cenário compromete a segurança e causa impacto nos custos do Mo-99. Assim, a CNEN mudou a estratégia em relação aos seus fornecedores, importando esse insumo do Canadá, Argentina, África do Sul e Rússia. A figura a seguir exemplifica a dependência nacional de insumos utilizados na medicina nuclear.

Radionuclídeos utilizados na Medicina			
Radionuclídeo	Forma de produção	Aplicação	Situação no Brasil
^{99m} Tc	Produção de ⁹⁹ Mo em reator nuclear de pesquisa	Diagnóstico	100% importado Gerador produzido no IPEN
¹³¹ I	Produção em reator nuclear de pesquisa	Diagnóstico Terapia	Parcialmente importado Processado no IPEN
⁵¹ Cr	Produção em reator nuclear de pesquisa	Diagnóstico	100% importado
¹⁵³ Sm	Produção em reator nuclear de pesquisa	Terapia	100% nacional Produzido no IPEN
⁹⁰ Y	Produção em reator nuclear de pesquisa	Terapia	100% importado
¹⁷⁷ Lu	Produção em reator nuclear de pesquisa	Terapia	100% importado
¹²⁵ I	Produção em reator nuclear de pesquisa	Braquiterapia	100% importado Processado no IPEN
¹⁹² Ir	Produção em reator nuclear de pesquisa	Braquiterapia	100% importado
⁶⁰ Co	Produção em reator nuclear de pesquisa	Teleterapia	100% importado
¹⁸ F	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	100% nacional
¹²³ I	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	100% nacional
¹¹¹ In	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	100% importado
⁶⁷ Ga	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	Parcialmente nacional
²⁰¹ Tl	Produzido em Cíclotron	Diagnóstico	Parcialmente nacional

Figura 8 – Radionuclídeos utilizados na Medicina Nuclear
Fonte: REVISTA BRASIL NUCLEAR (Ano 23, nº 47, 2017, p. 13)

A produção de radiofármacos no país é realizada por reatores de pesquisa sob a gestão da CNEN. O portfólio conta com 38 radiofármacos fornecidos exclusivamente para o uso na

medicina; essa comercialização representa 95% dos ganhos da Instituição. Assim, a manutenção e a disponibilidade dessas instalações são fundamentais para estabilidade produtiva do sistema da CNEN. A falta de recursos dificultou a manutenção no ciclotron do Centro Regional de Ciências Nucleares do Nordeste (CRCN-NE), paralisando a produção de Fluorodesoxiglicose (FDG-18F), que é um radiofármaco usado na tomografia por emissão de pósitrons, em boa parte de 2018. Outras unidades do IPEN tiveram o mesmo problema, só retornando sua produção no início de 2019 (CNEN, 2018).

Os lucros com a venda de radioisótopos pela CNEN não se convertem em alocação orçamentária direta para manter a produção, sendo enviados para o orçamento federal. A falta de flexibilidade na administração da produção e das políticas de venda, feitas no âmbito da administração pública, impacta diretamente no fornecimento de radiofármacos e nos seus custos, assim como agrava a situação de dependência do exterior, o que compromete o atendimento principalmente no setor público de saúde, onde os usuários costumam pertencer às camadas mais pobres da população.

O mercado de radiofármacos é regulado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), que estabeleceu a obrigatoriedade de que todas as unidades produtoras implantem procedimentos de Boas Práticas de Fabricação (BPF), para a emissão dos registros pela Agência. Isso tem obrigado a CNEN a buscar recursos em função dos altos custos para o cumprimento dessa determinação. Com isso, a AMAZUL estabeleceu um convênio com o IPEN/CNEN para a implantação das BPF no Centro de Radiofarmácia da instituição, atendendo a normativa da ANVISA (BARATA, 2019).

O SUS considera os procedimentos de medicina nuclear como sendo de alta complexidade, envolvendo alta tecnologia e alto custo. Dessa forma, a medicina nuclear praticada na rede pública de saúde é bem mais restrita do que a praticada na rede suplementar ou mesmo particular. Com isso, a maioria expressiva dos SMN são praticados pelo setor privado, detentor de pessoal e conhecimento multidisciplinar. Assim, os percentuais de participação da esfera privada são muito superiores em relação ao SUS, comprometendo o atendimento das pessoas que dependem do setor público de saúde (POZZO *et al*, 2014).

Durante a realização do 30º Congresso Brasileiro de Medicina Nuclear, Claudio Tinoco Mesquita, presidente da Sociedade Brasileira de Medicina Nuclear, relata a existência de uma grande assimetria no acesso dos SMN entre o serviço público e o privado. “Dos 150 milhões de usuários do SUS, temos 228 cintilografias cardíacas. E dos cerca de 51 milhões de usuários

da saúde suplementar, temos 800 mil cintilografias cardíacas” (VILLELA, 2016)³¹. Com isso, para quem possui plano de saúde, o uso de cintilografia cardíaca está na proporção de 1.683 procedimentos para cada 100 mil usuários; já no SUS, este cálculo cai para ínfimos 150 para cada 100 mil usuários.

A dependência externa (como se observa na tabela recém-apresentada), com destaque para o Mo-99, só será solucionada com a entrada em operação do RMB. Esse empreendimento está sendo desenvolvido em Iperó-SP, em área cedida pela MB e o Estado de São Paulo à CNEN. Seu projeto básico está concluído, tendo sido iniciado o projeto detalhado do reator com a participação da AMAZUL, coexecutora das etapas de implantação junto com a empresa argentina INVAP. Cabe destacar que o CTMSP desenvolveu ultracentrífugas em cascatas específicas para a produção do combustível para o reator, sendo a primeira cascata inaugurada no final de 2016.

Os serviços de medicina nuclear crescem no país a uma taxa de 10% ao ano. O RMB permitirá ao país ser autossuficiente na produção de radioisótopos de maneira plena, efetiva e com autonomia tecnológica, gerando os insumos necessários em escala comercial, dando sustentabilidade à expansão, principalmente nas áreas médicas como a cardiologia, oncologia, hematologia e neurologia. Esse empreendimento de incalculável valor social colocará a tecnologia nuclear, em larga escala, a serviço da saúde dos brasileiros.

Segundo Guardia (2013), o país gasta mais de R\$ 30 milhões com a importação de radioisótopos para a produção de radiofármacos. Para se ter ideia da economia proporcionada pelo RMB, seu custo, que está orçado em US\$ 500 milhões (R\$ 2,8 bilhões) calculado com base em instalações semelhantes construídas recentemente em outros países, poderá ser amortizado em 20 anos. A vida útil do equipamento é de 50 anos.

Além disso, o RMB é importante na realização de pesquisas com combustíveis nucleares, permitindo seu desenvolvimento seguro e eficiente. É um projeto estratégico e de grande arrasto tecnológico para o Brasil. A Marinha, norteadora por sua experiência adquirida no seu programa nuclear e em parceria com a AMAZUL, vem colaborando com o IPEN no desenvolvimento desse empreendimento.

Esse projeto, inédito para o país e único na América Latina, além da medicina nuclear, beneficiará a indústria nuclear nacional, a agricultura e o meio ambiente, através da realização de testes de componentes estruturais, do desenvolvimento de novos materiais, da fabricação de elementos combustíveis e de aplicações de fontes radioativas. Além disso, proporcionará

³¹ Agência Brasil: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-11/so-6-dos-servicos-de-medicina-nuclear-sao-publicos-diz-associacao>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

suporte ao desenvolvimento científico e tecnológico para as áreas de geração de energia e propulsão nuclear. A figura a seguir, fornece o escopo do projeto RMB.

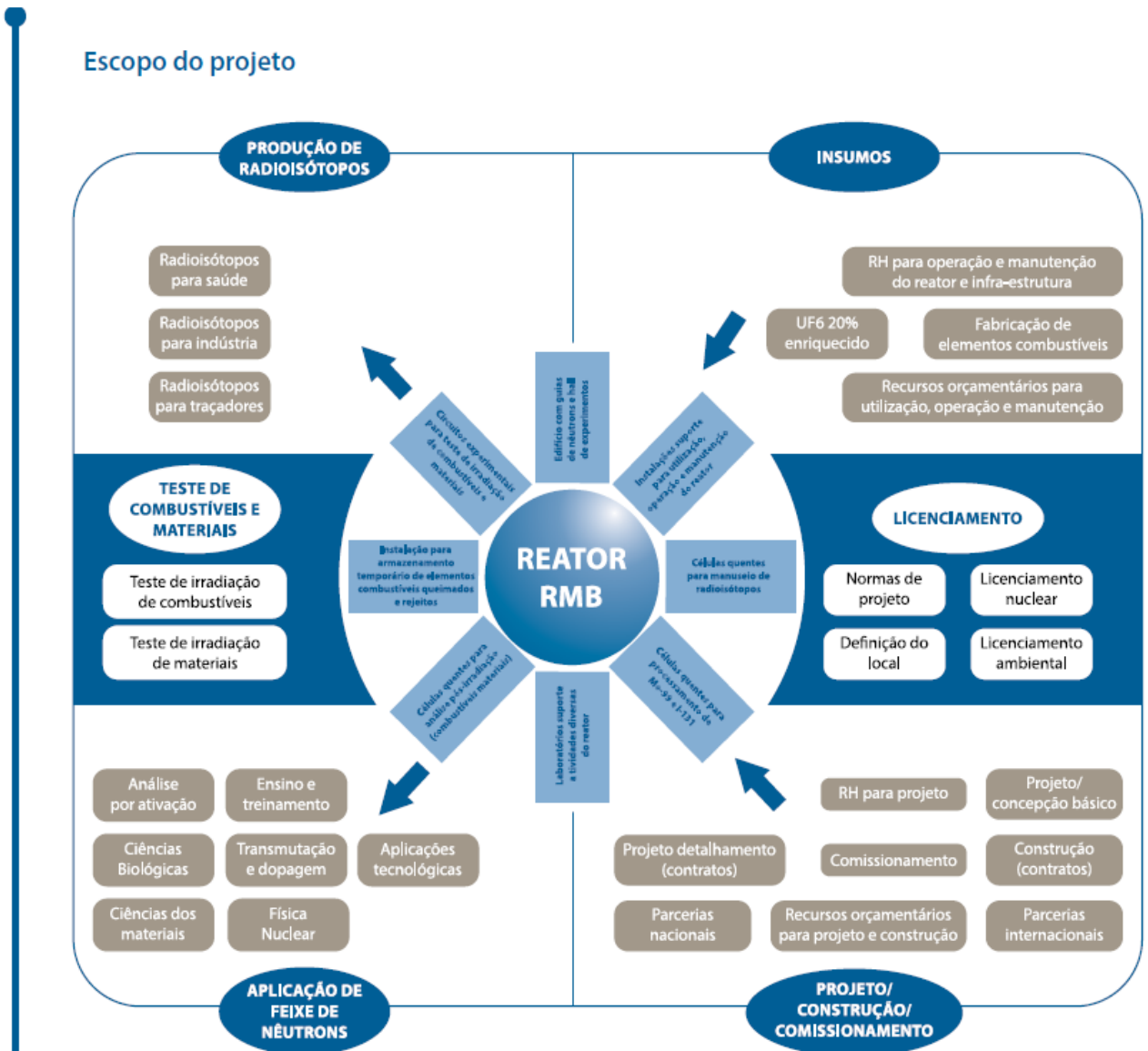


Figura 9 – Escopo do projeto RMB
Fonte: (GUARDIA, 2013, p. 10)

Cabe destacar um exemplo específico de uso dual das tecnologias desenvolvidas pelo PNM, em que, por intermédio da AMAZUL, foi estabelecida uma parceria entre o Instituto Dante Pazzanese de Cardiologia, de São Paulo, e o CTMSP, com o objetivo de desenvolver um motor para bomba centrífuga implantável, também conhecido como “coração artificial”. Esse empreendimento, mostrando a importante ambivalência social dos produtos gerados, valendo-se da tecnologia desenvolvida para as ultracentrífugas, vai beneficiar pessoas que estão na fila de espera por um transplante, dando a elas uma chance maior de receberem um coração novo, já que o dispositivo lhes proporcionará uma sobrevida (BARATA, 2019).

4.3 Agricultura

A população mundial deve aumentar em 2 bilhões de pessoas nos próximos 30 anos, afirma um relatório das Nações Unidas³². O total de habitantes do planeta deve passar dos atuais 7,7 bilhões para 9,7 bilhões em 2050. Na esteira desse aumento populacional, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO)³³ aponta uma constante elevação dos preços dos alimentos em todo o mundo.

Com fulcro nos estudos do psicólogo estadunidense Maslow³⁴, a alimentação está na base da pirâmide das necessidades do ser humano, constituindo-se em uma necessidade fisiológica, atrelada à nossa sobrevivência as pessoas precisam diariamente de alimentos. O aumento da população traz a necessidade de se discutir novas tecnologias que propiciem maior eficácia na produção alimentar, a fim de garantir a sustentabilidade das práticas agrícolas. Nesse cenário, o Brasil³⁵, por suas características como disponibilidade de terras aráveis, abundância de água e clima, está se consolidando como um dos pilares da segurança alimentar do planeta.

As tecnologias nucleares podem contribuir para o crescimento do agronegócio brasileiro. O uso dessas tecnologias possibilita o melhoramento genético das plantas, a substituição de produtos químicos por técnicas mais avançadas e menos poluentes, contribui para a sustentabilidade das atividades agrícolas no país, facilita o controle de pragas e melhora a qualidade e a conservação dos alimentos produzidos.

O melhoramento genético tem um importante papel a cumprir na ampliação da produção de alimentos no país. Diferentes tipos de radiação podem ser utilizados para induzir mutações, desenvolvendo plantas de melhores qualidade e rendimento, sendo resistentes a doenças e às adversidades ambientais. Para Fagundes *et al* (2010), cultivares de boa qualidade e que proporcionem maior produtividade, com resistência genética aos principais estresses ambientais de ordem bióticos e abióticos, são uma faceta cada vez mais importante na prática da agricultura moderna.

O uso de traçadores radioativos³⁶ possibilita acompanhar o metabolismo das plantas, verificando o que elas precisam para crescer, o que é absorvido pelas raízes e pelas folhas e

³² ONU News: < <https://news.un.org/pt/story/2019/06/1676601>>. Acesso em: 24 abr. 2021

³³ ONU News: < <https://news.un.org/pt/story/2021/04/1747012>>. Acesso em: 24 abr. 2021

³⁴ Pirâmide de Maslow: < <https://educador360.com/gestao/piramide-de-maslow/>>. Acesso em: 24 abr. 2021

³⁵ Embrapa: < <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/59784047/o-agro-brasileiro-alimenta-800-milhoes-de-pessoas-diz-estudo-da-embrapa>>. Acesso em: 24 abr. 2021

³⁶ **Traçadores Radioativos** - Radioisótopos que, usados em “pequeníssimas” quantidades, podem ser “acompanhados” por detectores de radiação. CNEN: < <https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

onde um determinado elemento químico fica retido. Fertilizantes marcados com fósforo-32³⁷ podem ser utilizados para medir a quantidade de fosfato existente no solo e o consumo de fósforo pelas plantas. Pode-se também utilizar radioisótopos para se verificar processos de infiltração e filtragem da água no solo, verificando a qualidade do terreno e as formas de melhorar e ampliar a produção de alimentos.

Na Índia³⁸, foi desenvolvido um *kit* de ferramentas instantâneas e de fácil utilização que auxilia os agricultores indianos na determinação dos índices de carbono orgânico no solo. As tecnologias nucleares facilitaram esse processo, que é fundamental para o crescimento saudável e o aumento de produção das culturas, por meio do uso racional de fertilizantes, com práticas sustentáveis de conservação do solo. A AIEA e a FAO trabalham no sentido de melhorar a gestão dos recursos naturais visando ampliar a produção de alimentos saudáveis.

A técnica do uso de traçadores radioativos possibilita o estudo do comportamento de insetos, como abelhas e formigas. Ao ingerirem radioisótopos, os insetos passam a “emitir radiação”, e seu “raio de ação” pode ser acompanhado. No caso de formigas, descobre-se onde fica o formigueiro e, no caso de abelhas, até as flores de sua preferência. Essa técnica, também é muito útil para eliminação de pragas, identificando qual predador se alimenta de determinado inseto indesejável, substituindo os inseticidas nocivos à saúde (CARDOSO, 2012).

Outra forma para se eliminar pragas é esterilizar os “machos” por radiação gama (⁶⁰Co) e depois soltá-los no ambiente para competirem com os normais, reduzindo a capacidade de reprodução da espécie em determinado local até a eliminação da praga, sem qualquer poluição com produtos químicos. Além disso, pode-se determinar se um agrotóxico fica retido nos alimentos ou quanto dele vai para o solo, para a água ou para a atmosfera, contribuindo com a preservação do meio ambiente e com a segurança alimentar das pessoas (CARDOSO, 2012).

A Técnica de Insetos Estéreis (SIT)³⁹ é um método anticoncepcional para insetos. Insetos machos são criados em grandes quantidades, esterilizados usando-se radiação e liberados para acasalar com fêmeas selvagens, resultando em nenhuma prole e em um declínio na população de insetos-alvo. O SIT tem sido usado por mais de 60 anos para combater pragas agrícolas como a Mosca-das-frutas do Mediterrâneo, a mosca Tsé-tsé na África subsaariana e,

³⁷A energia nuclear e seus usos na sociedade:< https://trad.fis.unb.br/pet-fisica/artigos/Energia_nuclear_e_seus_usos_na_sociedade.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021

³⁸ AIEA: <[Living in Harmony with Mother Earth: User-Friendly Instant Tool Kit Helps Indian Farmers Determine Soil Organic Carbon | IAEA](#)>. Acesso em 25 abr. 2021

³⁹ AIEA: <[New Publication Highlights Advances in Use of Nuclear Technique to Fight Insect Pests | IAEA](#)>. Acesso em 25 abr. 2021

mais recentemente, para combater os mosquitos *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*, responsáveis por epidemias em todo o mundo.

Segundo West *et al.* (2014 *apud* ARAUJO, 2018, p. 85), uma grande oportunidade para aumentar a disponibilidade de alimentos no planeta, e por consequência fortalecer a segurança alimentar e a sustentabilidade do sistema agroalimentar, é reduzir o desperdício de alimentos.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA),

No mundo, cerca de 1,3 bilhões de toneladas de alimentos são desperdiçadas por ano. Cerca de 30% dos alimentos produzidos vão para o lixo e são responsáveis pela emissão de 3,3 milhões de toneladas de gases de efeito estufa, segundo a FAO. Se 50% desses alimentos fossem aproveitados, seriam alimentadas 890 milhões de pessoas anualmente. A ONU estima que 758 milhões de pessoas passem fome no planeta (MMA, 2017).

Essa problemática atinge bastante a segurança alimentar regional da América Latina e do Caribe, região em que, segundo estimativa da FAO⁴⁰, ocorre 6% das perdas mundiais de alimentos, o que representa a perda e/ou se desperdício de cerca de 15% dos alimentos disponíveis nestas regiões. Essas perdas reduzem a disponibilidade local e mundial de alimentos, geram menores recursos para os produtores e aumentam os preços para os consumidores.

No Brasil, são desperdiçadas quase 15 milhões de toneladas de alimentos anualmente, o que coloca o país entre os dez que mais desperdiçam mundialmente. A FAO estima que 13 milhões de pessoas passem fome no Brasil (MMA, 2017).

Por isso, a técnica de irradiação de alimentos pode ser uma importante ferramenta, ou talvez a solução para combater essa perda considerável de alimentos, permitindo aumentar a vida de prateleira dos alimentos, proporcionando ganhos de produtividade na cadeia de produção alimentícia e gerando benefícios incalculáveis para os brasileiros e humanidade, impactando diretamente na vida de milhões de pessoas, garantindo o alimento na mesa dos habitantes de um país que se orgulha da abundância e diversidade de sua produção alimentar, notória globalmente.

A irradiação pode ser utilizada para eliminar microrganismos nocivos à saúde como fungos e bactérias, retardar o amadurecimento e brotação, esterilizar alimentos, sem o uso de produtos químicos. Esse processo consiste em expor os alimentos a uma fonte de radiação, sendo normalmente beta ou gama, vinda de um elemento radioativo por um determinado tempo, sendo o cobalto 60 e o césio 137 os elementos mais utilizados.

⁴⁰ FAO: < <http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/239394/>>. Acesso em 25 abr. 2021

O uso dessa tecnologia, que pode mitigar a fome no mundo, foi tema de apresentação pela AMAZUL, em 2020, no XI Seminário de Energia Nuclear. Nesse Seminário, uma das pautas foi debate sobre o uso da técnica de irradiação para dinamizar a agropecuária nacional e a implantação de irradiadores multipropósitos no Brasil. Para o Vice-Almirante Antônio Carlos Soares Guerreiro, Diretor-Presidente da Empresa,

Para se ter uma ideia do mercado potencial desses centros de irradiação, basta lembrar que o agronegócio é responsável por 21,4% do PIB e 43% do valor total das exportações, em 2019”. “Hoje, o Brasil é o terceiro maior produtor de frutas e exporta apenas cerca de 3% da sua produção (MARINHA DO BRASIL, 2020).

A AMAZUL desenvolverá projeto de engenharia e realizará o dimensionamento dos equipamentos, o licenciamento radiológico e a contratação da empresa responsável pela construção, montagem e comissionamento dos equipamentos, bem como a fiscalizará o empreendimento, até a entrega ao usuário final. O IPEN, órgão ligado ao CNEN, responsável pela introdução da tecnologia no país, dará o apoio técnico ao projeto (MALISZEWSKI, 2021). Assim, essa nova técnica de conservação de alimentos possibilitará ao País conquistar novos mercados com maior competitividade e sustentabilidade, contribuindo para a expansão do agronegócio, para a distribuição de renda e a mitigação da pobreza no País.

Um dos grandes ganhos da irradiação está no aumento do tempo de prateleira dos alimentos, procurando se evitar a deterioração e/ou apodrecimento durante sua logística de transporte e armazenamento. Assim, essa técnica se torna uma aliada na distribuição e comercialização dos produtos alimentícios. A figura a seguir ilustra a diferença entre o tempo de vida útil de alguns alimentos não irradiados e irradiados, mostrando o papel a cumprir dessa tecnologia no aumento da oferta de alimentos e a consequente diminuição da fome no país.

Produto	Vida útil sem Irradiação (dias)	Vida útil com Irradiação (dias)
Alho	120	300
Arroz	365	1095
Banana	15	45
Batata	30	180
Cebola	60	180
Farinha	180	730
Legumes e Verduras	5	18
Papaia	7	21
Manga	7	21
Milho	365	1095
Frango refrigerado	7	30
Filé de pescada refrigerado	5	30
Morango	3	21
Trigo	365	1095

Fonte – CENA/USP, 2012.

Figura 10 - Vida útil de alimentos não irradiados e irradiados
Fonte: MODANEZ (2012, p. 29)

No Brasil, o uso desta tecnologia ainda é um grande desafio devido a percepção negativa da sociedade, que associam os efeitos da irradiação aos aspectos prejudiciais à saúde de uma

suposta radioatividade lesiva. As pessoas costumam confundir irradiação com contaminação. A contaminação se caracteriza pela presença de um material indesejável em determinado local. Já a irradiação é a exposição de um objeto ou de um corpo à radiação. Portanto, um objeto ou o próprio corpo, quando irradiado (exposto à radiação) por uma fonte radiativa, não fica radioativo (CARDOSO, 2012).

Cada vez mais, o consumidor está preocupado com a qualidade de vida e com a qualidade dos alimentos que consome; nesse sentido, a irradiação de alimentos, além de reduzir a carga microbiana presente em carnes de modo geral, inibir ou retardar o processo germinativo nos bulbos e tubérculos, retardar a maturação de frutas e legumes, combater os parasitas e pragas que deterioram os alimentos e esterilizar os insetos que atacam as plantações, é também utilizada para aumentar a segurança alimentar (MODANEZ, 2012).

Ainda segundo Modanez (2012), a utilização da radiação ionizante para a conservação de alimentos é estudada há várias décadas e está regulamentada pelo Food and Drug Administration (FDA) desde 1963; a partir de 1997, a World Health Organization (WHO) liberou a utilização da técnica para todo tipo de alimento, **após estudos comprovarem que a técnica não é nociva à saúde.**

Essa barreira precisa ser transposta, pois a aceitação do mercado consumidor é essencial para o uso em larga escala da irradiação de alimentos no país. A opinião das pessoas se torna um fator crítico de sucesso para que as empresas possam aplicar comercialmente essas tecnologias nos alimentos produzidos.

Estados Unidos, China, Índia, Japão, Reino Unido, Argentina, Chile, Peru e parte da União Europeia utilizam a irradiação em especiarias, tubérculos, grãos, frutas, carne suína, frango, pescado, frutos do mar e ervas medicinais. Mais de 60 países comercializam produtos com o uso de irradiação.

O esclarecimento e a informação das pessoas, a respeito dos benefícios desta técnica de conservação de alimentos, são importantes ferramentas para a construção de uma relação de credibilidade e confiança entre o consumidor e os produtores. Por meio da comunicação e do conhecimento, é possível mudar a percepção da sociedade sobre os benefícios e a relevância social dessas tecnologias, que apresentam potencial para aumentar a oferta e tornar os alimentos mais baratos na mesa dos brasileiros, colaborando decisivamente para o combate ao desperdício e para a diminuição da fome no país.

No Brasil, as normas para o uso dessa tecnologia estão descritas na Resolução da Diretoria Colegiada nº 21 (RDC nº 21) da ANVISA, complementadas pela Instrução Normativa nº 9, do MAPA.

A figura a seguir apresenta o arcabouço normativo que regulamenta a atividade de irradiação de alimentos no Brasil. Como poderá ser constatado, desde o final da década de 60 do século passado o assunto vem sendo alvo de abordagens regulatórias, alcançando novos enquadramentos como o passar dos anos que buscam parametrizar o suporte técnico e científico necessário ao uso, assim como garantir a utilização segura dos procedimentos, atendendo a padrões testados e comprovados.

Código/Nome	Ementa	Observações
Decreto – Lei nº 986 de 21 de outubro de 1969	Estabelece normas gerais sobre alimentos.	Início da movimentação sobre legislação brasileira sobre irradiação de alimentos.
Decreto – Lei nº 72.718, de 29 de agosto de 1973	Estabelece normas gerais sobre irradiação de alimentos.	Somente será autorizada a irradiação de alimentos ou grupos de alimentos sobre os quais se disponha de trabalhos técnicos e científicos, desenvolvidos por instituições de pesquisa, nacionais ou internacionais, devidamente aprovados pelo CNEN. Normas gerais para processamento, estocagem, transporte, importação e exportação, venda e consumo de alimentos irradiados. Estabelece o logo da Radura no Rótulo do Produto Irradiado.
Resolução ANVISA – RDC nº 21, de 26 de janeiro de 2001	Regulamento técnico para irradiação de alimentos.	Qualquer alimento poderá ser tratado por irradiação, desde que sejam observadas as seguintes condições: - a dose mínima absorvida deve ser suficiente para alcançar a finalidade pretendida; - a dose máxima absorvida deve ser inferior àquela que comprometeria as propriedades funcionais e ou atributos sensoriais do alimento.
Instrução Normativa nº 9 (MAPA) 26 de Fev de 2011	Reconhece o uso da radiação ionizante como tratamento fitossanitário.	Prevenir a introdução ou disseminação de pragas quarentenárias.

Fonte – ANVISA, 2011.

Figura 11- Legislação para irradiação de alimentos no Brasil
Fonte: (MODANEZ, 2012, p. 20-21)

4.4 Indústria

A aplicação de radioisótopos mais conhecida na indústria é a radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial. Na indústria nacional, as técnicas nucleares são utilizadas em larga escala, sendo responsáveis por aproximadamente 30% das licenças para utilização de fontes radioativas. As técnicas nucleares são empregadas especialmente para a melhoria da qualidade dos processos nos mais diversos setores industriais (LIRA, 2015).

A Gamagrafia Industrial (impressão de radiação gama em filme fotográfico) é uma técnica de ensaio não-destrutivo destinada ao controle da qualidade de materiais e componentes, muito utilizada nas indústrias siderúrgica, aérea, naval, petrolífera, dentre outras. Os fabricantes de válvulas usam a gamagrafia, na área de Controle da Qualidade, para verificar se há defeitos ou rachaduras no corpo das peças (CARDOSO, 2012).

As empresas de aviação fazem inspeções frequentes nos aviões, para verificar se há “fadiga” nas partes metálicas e soldas essenciais sujeitas a maior esforço (por exemplo, nas asas e nas turbinas) usando a gamagrafia (CARDOSO, 2012). Outra técnica importante é o uso de traçadores radioativos⁴¹ que são de fácil detecção e medição. Esses traçadores radioativos são usados nos segmentos industriais de óleo e gás, química, alimentos e tabaco. Sua grande vantagem está na possibilidade de serem efetuadas intervenções em tempo real e sem influenciar a operação normal de uma instalação.

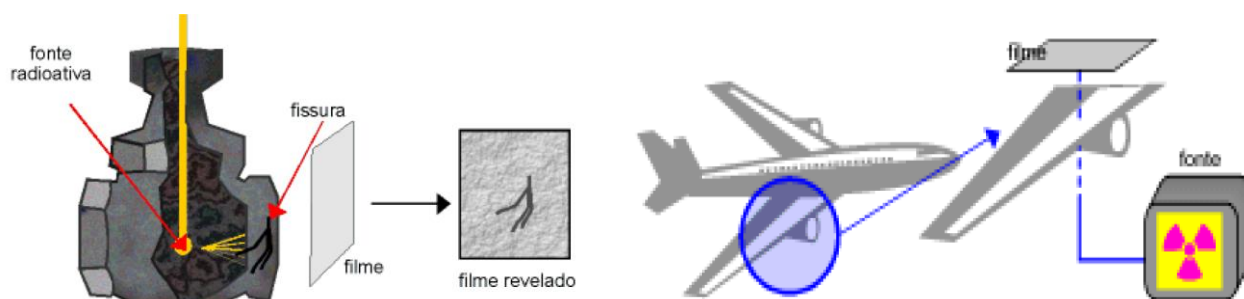


Figura 12 – Exemplos de Gamagrafia Industrial
Fonte: (CARDOSO, 2012, p. 12)

Outra prática muito utilizada na indústria é a medição de nível de líquido em um tanque, com a utilização de uma fonte radioativa. Nas indústrias de bebidas, essa utilização é comum no controle do enchimento de vasilhames. O uso da radiação também é adotado no controle de níveis de silos de grãos, refinarias, usinas de processamento de coque e materiais para alto-forno.

A indústria farmacêutica utiliza fontes radioativas de grande porte para esterilizar seringas, luvas cirúrgicas, gaze e material farmacêutico descartável, em geral. Seria

⁴¹ IAEA: <<https://nucleus.iaea.org/sites/orpnet/resources/posters/Shared%20Documents/poster-radioactive-tracers-pr.pdf>>. Acesso em 26 abr. 2021

praticamente impossível esterilizar, pelos métodos convencionais que necessitam de altas temperaturas, tais materiais, que se deformariam ou se danificariam de tal forma que não poderiam ser mais utilizados (CARDOSO, 2012).

As tecnologias nucleares vêm contribuindo na qualidade e na produtividade dos processos de fabricação, buscando atender com vantagem as necessidades dos consumidores. O radioisótopo com maior aceitação e que mais vem sendo utilizado na indústria é o cobalto 60 (^{60}Co). Sua utilização nos processos industriais não causam contaminação e nem produção de material radioativo, sendo mais eficiente que substâncias químicas usadas para o mesmo fim.

4.5 Meio ambiente

Técnicas nucleares⁴² ajudam na preservação e na recuperação do meio ambiente. Uma das utilidades dos radioisótopos é acompanhar o trajeto de poluentes no ar, na água ou no solo. É possível identificar em amostras de sedimentos, por exemplo, a presença de metais pesados, como o mercúrio, muito utilizado por indústrias e garimpos.

Outro exemplo é o uso dessa tecnologia para a verificação da estabilidade dos diversos tipos de barragens. Com essa técnica é possível distinguir águas de diferentes origens. O uso dos traçadores, integrado com outros ensaios geotécnicos, permite obter informações estratégicas sobre a estabilidade das barragens, possibilitando a detecção de riscos em barragens em estágio bem inicial do processo, pela sensibilidade do método de detecção usado (CDTN, 2020). Dessa forma, tal uso promove a segurança, podendo ser uma resposta para se evitar acidentes, como o que ocorreu no rompimento da barragem em Brumadinho-MG⁴³, em janeiro de 2019, que vitimou 252 pessoas e causou um desastre ambiental sem precedentes.

No meio ambiente, o uso de marcadores radioativos pode ser feito também para mapear a vazão de um rio ou para identificar contaminações de lençóis freáticos por produtos químicos. Pode ser usado ainda para se proceder a análise de irradiação por nêutrons e a esterilização de lixo e dejetos orgânicos. A primeira objetiva medir pequenas quantidades de poluentes. A segunda garante que não haja microrganismos nocivos, já que a radiação em excesso elimina todas as formas de vida microscópicas (ou praticamente todas).

Como se vê, há muitas formas de uso da radiação em prol do meio ambiente.

⁴² Câmara dos Deputados: < <https://www.camara.leg.br/noticias/59975-conheca-outras-aplicacoes-da-radioatividade/%C2%B4mailto:agencia@camara.gov.br%C2%B4>>. Acesso em 26 abr. 2021

⁴³ Agência Brasil: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2019-11/negligencia-causou-tragedia-de-brumadinho-diz-escritor#:~:text=No%20dia%20de%20janeiro,Dezoito%20pessoas%20continuam%20desaparecidas.>>. Acesso em 27 abr. 2021

4.6 Dessalinização de água

A presente subseção apresentará a viabilidade do uso das tecnologias nucleares em projetos de dessalinização. Essa aplicação tecnológica pode fazer a diferença para milhares de pessoas que sofrem as privações da falta de água em regiões como o semiárido nordestino do país. A energia nuclear carrega consigo o potencial de mudar radicalmente a qualidade de vida e o bem das comunidades que vivem nesses locais.

O Brasil apresenta abundantes recursos hídricos em seu território, sendo responsável pela posse de 12% de toda água doce superficial do planeta. Apesar de todo esse potencial, a distribuição desses recursos não é uniforme, pois 72% de toda água doce se concentra na região amazônica e somente 3% na região Nordeste (LUCA, 2011).

Essa desigualdade na distribuição é visível na precariedade e na falta de água no semiárido brasileiro, onde a população convive com privações de toda ordem em uma seca prolongada, passando por crises de desabastecimento em que o volume crítico de rios e reservatórios compromete o atendimento das necessidades hídricas básicas das pessoas.

Uma das consequências dessa má distribuição dos recursos hídricos no território nacional foi a criação da Operação Carro-Pipa⁴⁴, integrada ao Programa Emergencial de Distribuição de Água Potável, com o objetivo auxiliar as populações rurais atingidas pela seca e a estiagem. Essa operação é realizada a partir de cooperação técnica e financeira entre os Ministérios do Desenvolvimento Regional e da Defesa, com o propósito de atender às famílias do Semiárido nordestino e nas regiões norte de Minas Gerais e do Espírito Santo. Essa iniciativa do Governo Federal atende, todos os anos, mais de 600 cidades em dez estados, beneficiando cerca de três milhões de pessoas.

A água doce está presente em várias atividades na vida humana, sendo utilizada na agricultura para produção de alimentos, na indústria e no uso doméstico. No setor agrícola, a água doce é fundamental para a irrigação. A geração de energia elétrica necessita de água doce como água de processo e como água de resfriamento e aquecimento. No setor de mineração a água doce é indispensável para a extração dos metais dos minérios.

A segurança hídrica é uma preocupação no mundo e no Brasil. Uma das alternativas mais viáveis para essa problemática está na tecnologia de dessalinização para obtenção de água potável. Assim, foi estabelecida uma parceria entre a CNEN⁴⁵, a Marinha do Brasil e as

⁴⁴ Casa Civil: <<https://www.gov.br/casacivil/pt-br/assuntos/noticias/2020/setembro/operacao-carro-pipa-e-selecionada-para-integrar-projeto-para-estimular-inovacao-na-administracao-publica>>. Acesso em 27 abr. 2021

⁴⁵ IPEN: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=6725>. Acesso em 27 abr. 2021

universidades no desenvolvimento de um projeto nacional em dessalinização nuclear. Essa iniciativa apresenta o potencial de resolver a escassez de água em nível nacional e garantir, simultaneamente, a segurança energética, hídrica e alimentar.

A dessalinização da água utilizando reatores nucleares já é aplicada em Israel. Dessa forma, quando o reator está conjugado a um sistema de dessalinização, o calor produzido vaporiza a água do mar, separando-a do sal. O vapor, em seguida, é condensado, e vira água limpa. Dessa maneira, o processo serve tanto para o abastecimento hídrico quanto para a geração de eletricidade, possibilitando melhor aproveitamento dos recursos (MOTTER, 2018).

Valendo-se das fontes convencionais de energia⁴⁶, há um total de 150 países, dos quais se destacam Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Kuwait, Catar, Barein e Omã, que obtêm 90% da água potável por meio de processos de dessalinização. Juntas, essas seis nações produzem 45% de toda água dessalinizada do mundo. O Brasil possui apenas uma usina de dessalinização, no arquipélago de Fernando de Noronha, na costa de Pernambuco, mas existem outros projetos em desenvolvimento nos estados do Ceará, Pernambuco e Bahia.

Essa proposta apresenta dupla aptidão, a dessalinização da água e a geração de eletricidade. O calor gerado na reação nuclear seria parcialmente aproveitado para a geração de energia elétrica e outra parte seria empregada no processo de dessalinização. Os principais benefícios para a população brasileira estão nas sustentabilidades hídrica, energética e alimentar advindas do projeto. Um único reator de 75MWt pode produzir água suficiente para abastecer 1,4 milhão de pessoas ou produzir 47.450 toneladas/ano de milho. Além disso, diversos pequenos reatores podem ser montados em *clusters*⁴⁷, aumentando a produção proporcionalmente (IPEN, 2016).

Dessa forma, pode ser criado, em torno do empreendimento, um parque agroindustrial abastecido pela eletricidade gerada e pelo desenvolvimento de atividades agrárias irrigadas com excedentes de água da região. O DES-SAL apresenta-se como projeto de grande alcance social, tendo o potencial transformador na melhoria da qualidade de vida das pessoas, com destaque

⁴⁶ Clube de Engenharia:< <http://portalclubedeengenharia.org.br/2016/07/22/o-papel-da-energia-nuclear-no-suprimento-de-agua-potavel-no-mundo/>>. Acesso em 27 abr. 2021

⁴⁷ Hoje em dia, devido ao alto custo de capital das grandes usinas nucleares e à necessidade de manutenção de redes elétricas de pequeno porte, com menos de 4 GWe, há um movimento para desenvolver pequenas unidades. Estes podem ser construídos de forma independente ou como módulos de um complexo (“cluster”), com a capacidade adicionada incrementalmente conforme necessário. Economias de escala são fornecidas não pela potência da unidade, mas pelo maior número de unidades construídas. Pequenas unidades são vistas como um investimento muito mais controlável do que as grandes (MARIZ, 2015, p. 69).

para o acesso a água potável, o uso da energia elétrica e a produção de alimentos, trazendo alento e conforto em regiões com elevado estresse hídrico.

Nesse escopo, o Projeto DES-SAL tem como propósito adaptar um pequeno reator PWR (Água Leve Pressurizada), projetado para a propulsão naval (LABGENE), e otimizá-lo para a cogeração de eletricidade e água potável. Assim, o CTMSP é um protagonista neste empreendimento, já que trabalha no desenvolvimento e na construção do LABGENE, planta propulsora do SNBR brasileiro e de projeto autóctone da MB. Portanto, espera-se que esse reator possa se transformar em uma resposta para as demandas de ordem hídrica, energética e alimentar em regiões como as do semiárido brasileiro.

Esse empreendimento, fruto da parceria formada entre a CNEN, o CTMSP e a UFRJ para o desenvolvimento de um projeto nacional em dessalinização nuclear, delineia um tempo de duração de seis anos, divididos em três etapas de dois anos. A primeira etapa possui como objetivos principais a elaboração dos projetos conceituais do reator nuclear de pequeno porte e de uma usina de dessalinização. Na segunda etapa, serão realizados experimentos para a validação dos aspectos inovadores do projeto e o desenvolvimento do projeto básico (DANTAS, 2017).

O laboratório de dessalinização a ser implantado no IEN será utilizado para o estudo da tecnologia associada à Destilação por Membranas, que tem se revelado muito promissora. Provavelmente, o primeiro protótipo do DES-SAL Nuclear será implantado no Nordeste, uma área com grande potencial para instalações desta natureza. Nas palavras de Auro Pontedeiro⁴⁸,

Quando se pensa em água, se pensa no Nordeste. Por isso, quando começamos o projeto, nosso alvo inicial foram regiões carentes de água tanto no interior como perto do litoral, onde há uma grande quantidade de poços artesanais (DANTAS, 2017, p. 15).

O Projeto DES-SAL é uma solução economicamente viável já que o país possui consideráveis reservas de urânio e domina o ciclo do combustível nuclear. Além disso, é um empreendimento socioeconômico de alargado alcance social, pois permite a cogeração de energia e água potável em regiões carentes e afastadas do país, associando a produção agrícola e agroindustrial e criando a base para desenvolvimento da infraestrutura de serviços públicos, como hospitais, escolas, saneamento básico, dentre outras.

Dada a crise hídrica enfrentada pelo País, não apenas na região nordeste, mas abrangendo outros estados, o processo de dessalinização se torna uma alternativa bastante promissora para reverter a escassez de água e amenizar o sofrimento das populações que vivem

⁴⁸ Assessor Técnico da Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade - AgNSNQ

nessas regiões. A figura a seguir, procura representar o alcance social do Projeto DES-SAL e seu importante papel a cumprir nas áreas assoladas pela seca no Brasil.

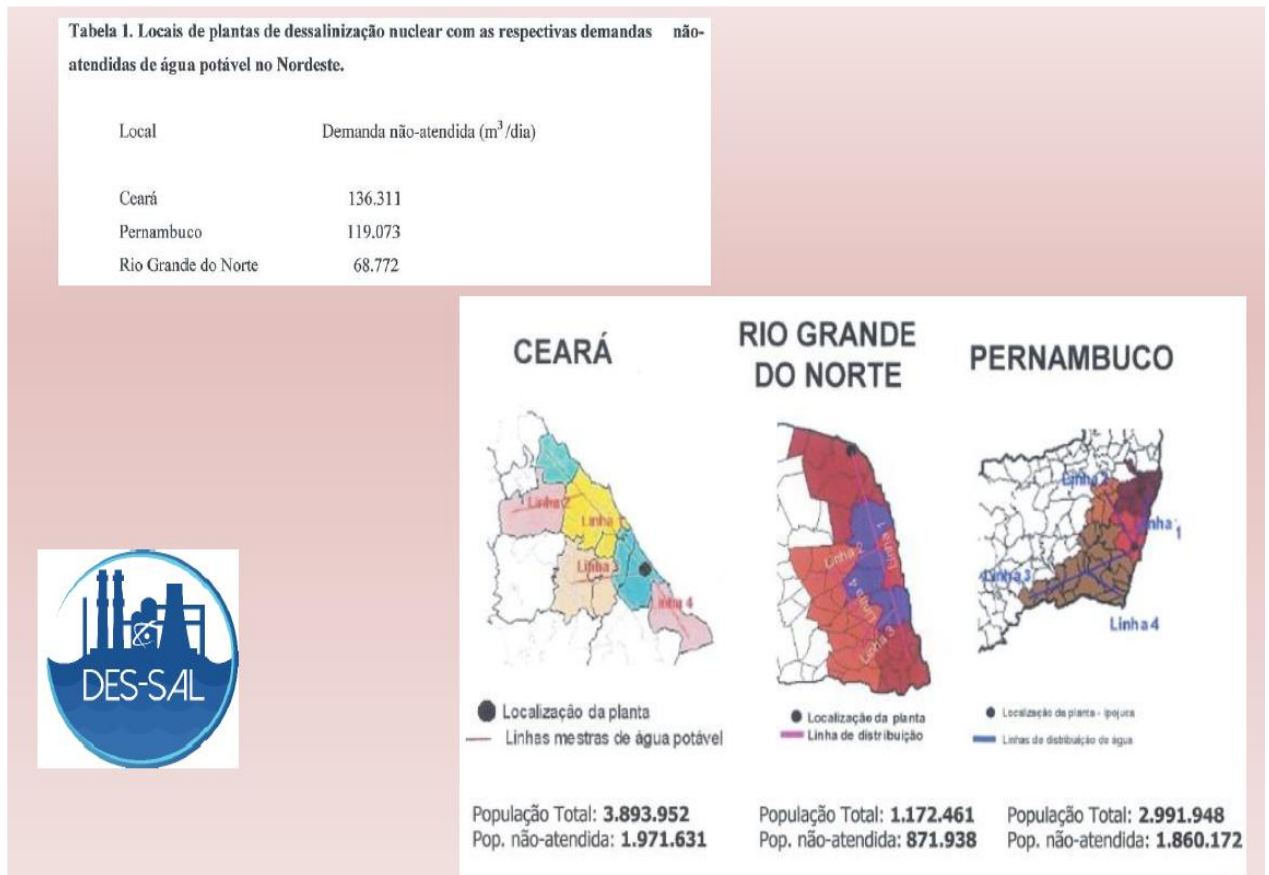


Figura 13 - Abrangência do Projeto DES-SAL
Fonte: (COTTA, 2017)

4.7 Quadro Sintético sobre uso dual das tecnologias nucleares

A seguir será apresentado um quadro resumo das principais aplicações de uso dual das tecnologias nucleares observadas na realização deste trabalho, destacando-se como essas tecnologias podem trabalhar em prol da melhoria da qualidade de vida das pessoas e o seu importante papel a cumprir na construção de um futuro melhor e próspero para as gerações vindouras de brasileiros.

PNB (Ciclo do Combustível Nuclear, RMB e LABGENE)	Uso Dual das Tecnologias Nucleares
Medicina Nuclear	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicações diagnósticas e terapêuticas (Oncologia, Cardiologia e Neurologia), sendo fundamental nos diagnósticos de diversas enfermidades e no tratamento de vários tipos de câncer. - O RMB proporcionará a autossuficiência nacional na produção de radioisótopos para radiofármacos, permitindo a expansão e a democratização do acesso aos benefícios da medicina nuclear no país, por meio da diminuição dos custos. - O RMB, um projeto estruturante que colocará as tecnologias nucleares, em larga escala, a serviço da saúde dos brasileiros. - Desenvolvimento de equipamentos como o coração artificial, dando uma sobrevida às pessoas que aguardam um coração na fila de transplantes.
Geração de Energia Elétrica	<ul style="list-style-type: none"> - Desenvolvimento de toda a cadeia produtiva do ciclo do combustível nuclear, na busca pela autossuficiência da produção do combustível nuclear no país, trazendo desenvolvimento local, empregos altamente qualificados e renda. - Coprodução de urânio e insumos para agricultura e pecuária (Consórcio Santa Quitéria-FOSNOR). - Exportação de produtos de alto valor agregado da cadeia produtiva do urânio para geração de energia ou para uso em reatores de pesquisa. - Geração de energia de base junto ao SNI, gerando segurança e flexibilidade energética ao Brasil. - Diminuição do OPEX na geração de energia (50%), devido ao domínio do ciclo do combustível nuclear. - Fonte de energia barata e abundante devido o país possuir reserva de urânio e dominar a tecnologia do combustível nuclear. - LABGENE, um reator multipropósito e de elevado arraste tecnológico, com potencial de induzir toda a cadeia produtiva na indústria nuclear brasileira, gerando empregos altamente qualificados e produtos de elevado valor agregado. - o LABGENE habilitará o país a construir PCH com até 1.000 megawatts e poderá atender as regiões longínquas do Brasil não alcançadas pelo SNI.
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> - Melhoramento genético das plantas, visando o ganho de produtividade, a resistência a pragas e as condições ambientais. - Uso de traçadores radioativos permite acompanhar o metabolismo das plantas e o estabelecimento de boas práticas de manejo e uso racional dos solos. - Sustentabilidade das práticas agrícolas por meio da substituição de produtos químicos por técnicas menos poluentes. - Possibilita o acompanhamento e o comportamento dos insetos, auxiliando no controle de pragas (SIT) ou na produção agrícola.

Quadro 1 – Uso dual das tecnologias nucleares

PNB (Ciclo do Combustível Nuclear, RMB e LABGENE)	Uso Dual das Tecnologias Nucleares
Conservação de Alimentos	<ul style="list-style-type: none"> - A irradiação possibilita a eliminação de microrganismos nocivos à saúde como fungos e bactérias, retarda o amadurecimento e a brotação, possibilita esterilizar os alimentos sem o uso de produtos químicos. - Uso da irradiação de alimentos visando o ganho de tempo de prateleira e, por consequência, diminuindo o desperdício de alimentos no Brasil e no mundo, proporcionando ganho de produtividade na cadeia de produção alimentícia. - A irradiação de alimentos possui potencial para diminuir a fome no Brasil e no mundo, melhorar a qualidade dos alimentos consumidos pelas pessoas e aumentar as exportações nacionais de alimentos (frutas).
Indústria	<ul style="list-style-type: none"> - Radiografia de peças metálicas ou gamagrafia industrial, melhorando os processos industriais por meio do controle da qualidade de materiais e componentes. - Empresas de aviação usam a gamagrafia na inspeção dos aviões, verificando se há “fadiga” nas partes sujeitas a maior esforço (asas e turbinas), garantindo a segurança nos voos. - Uso de traçadores radioativos nas indústrias de óleo e gás, química, alimentos e tabaco, possibilitando intervenções em tempo real. - Na indústria de bebidas é utilizada no enchimento de vasilhames. - Na indústria farmacêutica faz o uso de fontes radioativas na esterilização de seringas, gases, luvas, material farmacêutico em geral. - O RMB irá proporcionar teste de irradiação de combustíveis nucleares e materiais e produção de fontes radioativas seladas para gamagrafia.
Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> - Preservação do meio ambiente, pois os radioisótopos permitem acompanhar o trajeto de poluentes no ar, na água e no solo. - Uso de traçadores verificar a estabilidade de diversos tipos de barragens, possibilitando identificar os riscos em estágio inicial do processo, gerando segurando e evitando acidentes. - Uso dessa técnica na verificação de vazão dos rios ou na contaminação do lençol freático. - O RMB irá proporcionar a produção de Traçadores para aplicação no meio ambiente.
Dessalinização	<ul style="list-style-type: none"> - DES-SAL, cogeração de energia e produção de água potável por meio da otimização do LABGENE (reator de propulsão naval). - Solução para as regiões do País de grande stress hídrico, levando água potável, produção de alimentos (irrigação), energia para as pessoas, ou seja, trazendo segurança hídrica, energética e alimentar para essas regiões. - DES-SAL: empreendimento socioeconômico de alargado alcance social, com poder transformador na vida das pessoas.

Quadro 1 – Uso dual das tecnologias nucleares
(continuação)

PNB (Ciclo do Combustível Nuclear, RMB e LABGENE)	Uso Dual das Tecnologias Nucleares
Defesa	<ul style="list-style-type: none"> - Produção de combustível nuclear para o submarino de propulsão nuclear brasileiro. - SNBR possibilitará a MB estar onipresente em toda a Amazonia Azul, uma área 5,7 milhões Km², garantindo a soberania plena sobre as AJB. - Segurança, dissuasão e projeção internacional, garantindo os interesses nacionais.
Observação	<ul style="list-style-type: none"> - Enriquecimento isotópico por ultracentrifugação, em que o CTMSP é responsável pela fabricação e montagem das centrífugas para as INB. - O CTMSP desenvolveu ultracentrífugas específicas para o RMB. - O Brasil ruma em direção a autossuficiência na produção do combustível nuclear por meio do retorno à mineração, com novas minas entrando em operação, e a construção da UCEU, que prevê a entrada em operação de 40 cascatas.

Quadro 1 – Uso dual das tecnologias nucleares

Fonte: o autor

5. FORMAÇÃO DE UMA CONSCIÊNCIA SOBRE TECNOLOGIAS NUCLEARES

A comunicação com a sociedade vem se tornando uma atividade essencial na formação de uma consciência nacional que veja de forma racional e equilibrada o uso pacífico das tecnologias nucleares. Este capítulo apresentará desafios enfrentados pelo setor nuclear no tocante a aceitação pública dessas tecnologias.

A desinformação é um fator crítico no processo de aceitação pública de empreendimentos nucleares. Para compensar essa vulnerabilidade no país, profissionais da área vêm intensificando as ações de divulgação dos benefícios sociais da energia nuclear, de modo que os cidadãos possam ter informações suficientes e bem embasadas sobre essa tecnologia (FERREIRA; SOARES; 2012). Assim, o estabelecimento de um diálogo entre os setores técnicos e a sociedade é fundamental no esclarecimento das pessoas sobre as tecnologias nucleares, suprimindo as carências de informações a respeito do tema nuclear. Investir na comunicação com a sociedade se torna fator crítico de sucesso para o avanço do setor nuclear brasileiro.

O debate público forçará o diálogo entre opositores e apoiadores sobre as aplicações pacíficas das tecnologias nucleares. Ambos os lados terão a oportunidade de exporem suas opiniões qualificadas sobre o assunto, possibilitando ao cidadão comum exercer o contraditório e ter o esclarecimento necessário para uma decisão favorável ou contrária que irá colaborar para a aceitação pública dos benefícios das tecnologias nucleares.

Para isso, os opositores serão instigados a apresentar argumentos sobre suas apreensões e/ou angústias, emitindo opiniões baseadas em fatos concretos e isentos que possam colaborar na formação de uma opinião pública favorável ou não a essas tecnologias. Já para os apoiadores, será oportunizado apresentar, com critérios científicos precisos, os conceitos relativos às ciências nucleares, mostrando as oportunidades para o país advindas do setor nuclear, deixando claro para as pessoas como essas tecnologias podem trabalhar para a melhoria da qualidade de vida e do bem-estar das pessoas.

As polêmicas relativas à opinião pública a respeito dos empreendimentos nucleares e a popularização do uso dessas tecnologias são recorrentes e pragmáticas no mundo e no Brasil. Estabelecer um canal de comunicação com as pessoas é fundamental para o estabelecimento de uma relação de confiança e de responsabilidade entre os setores técnicos do PNB e os setores da sociedade interessados em participar do desenvolvimento nacional.

Para Monteiro (2013), o período da “Guerra Fria”, marcado pela disputa entre EUA e a então União Soviética, em que ambas as nações buscaram aumentar seus arsenais nucleares e,

ao mesmo tempo, impuseram restrições ao conhecimento, principalmente ao desenvolvimento de tecnologias de enriquecimento de urânio, fizeram aumentar a desconfiança entre jornalistas, políticos e formadores de opinião pública mundial. Com isso, ainda persiste a percepção pública de que a energia nuclear é insegura, danosa ao ambiente, de alto risco e centralizada nos governos.

Segundo o autor, a falta de informação ou a propagação distorcida da informação, fortalecem a resistência e a hostilidade pública, podendo restringir, ainda mais, a opção nuclear. A divulgação negativa pela mídia, emitindo opiniões sem qualquer sustentação real acerca dos perigos, compromete o já complicado cenário em que se pretende diminuir a distância entre o risco informado e o risco percebido na área nuclear. Assim, essas divulgações negativas, propagadas a esmo, podem gerar lendas ou mitos sobre essas tecnologias.

Segundo Junior (2007), o público demonstra uma percepção distorcida devido a mídia retratar a ciência de forma inadequada. O autor relata que os cientistas argumentam que se as informações científicas fossem fielmente divulgadas, as pessoas não teriam uma percepção equivocada dos riscos que as cercam. Dessa forma, a não realização de uma consulta pública ou debates junto à sociedade, pode frear um programa nuclear devido ao surgimento de uma forte oposição desinformada, calcada em percepções exageradas ou reduzidas de acordo com o que é comunicado.

Segundo Dantas (2016), a metanarrativa da área nuclear sofreu uma transformação muito rápida, passando de uma esperança para produção de energia que o mundo precisava no final da década de 1930 e início da década de 1940, para o impacto negativo provocado com o lançamento das bombas atômicas sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki (1945) e, depois, com os acidentes nucleares ou radiológicos de *Three Mile Island* (1979), Chernobyl (1986), Goiânia (1987) e Fukushima (2011). Para ela, a metanarrativa da área nuclear foi transformada em algo com um conteúdo percebido como prejudicial para as pessoas e para o planeta.

Um evento que não seja considerado emergência por especialistas, pode ser interpretado de maneira diferente pelo público. A comunicação eficaz reduz os riscos e mitiga os impactos psicológicos negativos. Além disso, em um cenário onde a aceitação pública é um forte fator de influência, o futuro da área nuclear dependerá da direção de sua metanarrativa, que sofre influência das narrativas nacionais e supranacionais. Dessa forma, ressalta-se a importância de se reforçar a confiança de que não haverá desvio das atividades nucleares com fins pacíficos e, sobre a narrativa, o provável caminho será a tradução do problema para a sociedade, a abertura e o diálogo (DANTAS, 2016).

Em entrevista concedida à Revista Brasil Nuclear, José Luiz Alquéres⁴⁹ pontua:

Em primeiro lugar, fazemos um enorme trabalho de divulgação científica em escolas e junto ao grande público sobre a energia nuclear. Existe uma grande ignorância sobre a energia nuclear, e o setor nuclear tem uma grande culpa nisso. O prêmio Nobel de Economia, Amartya Sen, criou um conceito muito interessante que diz o seguinte: se todas as pessoas dispuserem da mesma informação, haveria uma facilidade maior de convergência em relação às discussões. Trata-se de algo muito simples de enunciar e de entender – a eliminação de assimetrias na informação, mas muito difícil de praticar, uma vez que a discussão do nuclear é feita entre leigos totais, organizações que defendem facciosamente seus pontos de vista, para um lado ou para o outro, e estudos pseudotécnicos. Comunicações completamente “terroristas” e a exploração indevida de certos acidentes transformaram a energia nuclear em tabu, em várias partes do mundo. Ou o setor nuclear entende que, primeiramente, é necessário educar, informar a sociedade em geral e os tomadores de decisão, em particular, ou não vamos ter energia nuclear. É preciso uma sociedade de tomadores de decisão que tenham o conhecimento e a vontade política de ter a energia nuclear (DANTAS, 2014c, p. 6-7).

Um exemplo de falha de comunicação ocorreu durante o acidente de Fukushima, “Nunca vi o que aconteceu” e “nenhuma pessoa morreu pela liberação da radiação de Fukushima. Portanto, a vida esteve protegida”, afirmou o consultor e ex-presidente da Comissão de Energia Atômica do Japão Yoichi Fuji-ie⁵⁰. Segundo ele, além da inexperiência para lidar com um desastre de tal dimensão, as autoridades japonesas falharam ao não saber explicar a diferença entre a catástrofe natural e o acidente nuclear. Esse fato teria levado a opinião pública mundial a entender que o acidente nuclear foi o responsável pelas mortes. Além disso, apesar das autoridades japonesas terem imposto restrições ao consumo de vários alimentos originários de regiões próximas ao acidente, as medições mostraram que os índices de radioatividade não afetavam o ser humano (DANTAS, 2012).

Em 2008, a associação ambiental não governamental Greenpeace denunciou a contaminação da água no distrito de Lagoa Real, em Caetité-BA, devido à atividade de mineração de urânio realizada pela INB, classificando-a como perigosa e poluente. Simara Campos⁵¹, física experimental e moradora de Vitória da Conquista-BA, decidiu investigar os impactos da mineração na região, como parte de seu projeto de doutorado na Universidade Federal de Sergipe, devido à repercussão da campanha desenvolvida pelo Greenpeace junto à população local e nas cidades vizinhas. Após dois anos de estudo, a pesquisa concluiu que a alteração encontrada no meio ambiente é uma consequência natural da presença do urânio

⁴⁹ Consultor privado e integrante dos conselhos de empresas da área financeira e do setor elétrico

⁵⁰ Palestra do workshop Cenário Pós-Fukushima, realizado pela Eletrobras Eletronuclear, em novembro de 2012: reportado pela Revista Brasil Nuclear.

⁵¹ Os resultados estão registrados no trabalho “*Determination of the concentration of radionuclides in soil and water next the uranium mine of Caetité (BA)*”, apresentado na seção de posters do X Encontro em Aplicações Nucleares (ENAM), evento da Inac 2011.

naquela localização e não devida simplesmente à exploração desse elemento (REVISTA BRASIL NUCLEAR, 2012).

Junior (2007), concluiu que as pessoas, ao perceberem os benefícios em contraposição aos riscos, atribuem grande valor à energia nuclear. Quanto maior for esse benefício, o risco tende a ser aceito de forma voluntária. Para a percepção de valor, os porta-vozes são elementos da maior importância, pois emprestam sua credibilidade às informações até então desconhecidas sobre a fonte. A pesquisa apontou que as pessoas mais velhas e as pessoas com maior nível educacional associam lembranças negativas ou muito negativas às usinas nucleares.

Em contrapartida, os jovens se mostraram menos opositores e revelaram-se como uma oportunidade favorável para disseminação de um entendimento, destacando-se o grupo do ensino médio. Assim, para o autor a comunicação de valor deve se concentrar “nos estudantes do nível médio”, pois estes facilitam a construção de um capital de credibilidade e simpatia ao tema nuclear. Além disso, a comunicação de valor deve priorizar a desmitificação e a desconstrução das associações negativas à temática nuclear, reforçando: os benefícios de crescimento e desenvolvimento econômico; conforto e qualidade de vida; e a mitigação de riscos como efeito estufa e escassez de água. Prioriza-se, dessa forma, a lembrança dos benefícios que, comparativamente, compensam os riscos.

Ferreira e Soares (2012), em seu trabalho, relatam que em 2009, observando alunos da Universidade Federal de Lavras – UFLA, após a realização de um minicurso e discussão sobre os benefícios das tecnologias nucleares como medicina, energia, conservação de alimentos e saúde, constataram uma diminuição considerável da rejeição sobre o tema. Em trabalho semelhante na Universidade UNIFENAS, em Divinópolis – MG, sobre as mesmas aplicações, o índice de rejeição inicial que era de 57% por parte dos estudantes, após a apresentação dos ganhos advindos dessas tecnologias para as pessoas, o índice de rejeição caiu para 15,1%. Assim, os resultados obtidos atestam a importância de um esclarecimento maior junto à sociedade a respeito da percepção do setor nuclear brasileiro.

*Pandora's Promise*⁵² é um documentário que tem provocado mudanças na agenda de ambientalistas e governantes em todo o mundo. Esse filme foi concebido meticulosamente para demolir os principais mitos criados, ao longo de décadas, que sustentam os argumentos antinucleares. A primeira imagem do filme é a de um famoso ativista em uma passeata antinuclear sentenciando para a plateia: “a indústria nuclear é uma indústria da morte, do câncer, das bombas, que está matando gente e sempre matará” (CAMARGO, 2014).

⁵² <https://www.youtube.com/watch?v=ObcgG9vjUbs>

O documentarista criador, Robert Stone⁵³, usa, então, os próximos 89 minutos do filme para demonstrar não apenas que esse discurso é mentiroso, como também que a indústria nuclear pode ser a indústria da vida. O filme expõe a gravidade do problema do aquecimento global e do papel fundamental que a fonte nuclear possui no processo gerador de energia limpa, segura e regular. No Brasil, até o presente momento não há previsão de exibição do documentário. No entanto, a Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN) adquiriu os direitos de sua exibição e, mediante solicitação, é possível agendar uma exibição para grupos, caso o solicitante providencie um espaço adequado (CAMARGO, 2014).

⁵³ Cineasta renomado internacionalmente, que se autodefine como um ambientalista apaixonado. Seu documentário *Radio Bikini*, ganhou o Oscar de melhor documentário em 1989. Em 2009, durante a produção *Earth Days*, percebeu o pessimismo que havia tomado conta dos ativistas e seu fracasso em gerenciar a causa do aquecimento global. Reportado pela Revista Brasil Nuclear.

6. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como temática o alcance social do PNM, realizando uma pesquisa bibliográfica e documental, dividindo o trabalho em diversos capítulos, os quais propiciaram um melhor esclarecimento aos questionamentos que aparecem ao longo do seu desenvolvimento. Ao concluir, observa-se o papel das tecnologias nucleares como fonte geradora de desenvolvimento socioeconômico, tecnologia, emprego, crescimento econômico e estratégico, e sua contribuição para alcançar as metas ambientais nos países onde atua.

O PNB vive um momento único desde seu início, com grandes projetos a vista, tais como a conclusão das obras de Angra 3; a exploração de novas minas de urânio; a construção de novas usinas nucleares, expandindo a capacidade instalada de geração nucleoe elétrica de 8 a 10 GW previsto no PNE2050; a implantação do RMB, o qual tornará o país autossuficiente na produção de radioisótopos e fontes radioativas usadas na medicina nuclear, na indústria, agricultura e meio ambiente; o desenvolvimento e a fabricação do LABGENE, reator nuclear de propulsão naval que equipará o SNBR, dentro do escopo do PNM, dentre outros. Além disso, o Brasil possui grandes reservas de urânio e domina totalmente a tecnologia do ciclo do combustível nuclear, desenvolvida pelo CTMSP, em parceria com o IPEN.

O setor de mineração de urânio está em um momento de retomada de suas atividades, com a entrada em operação de novas minas nas regiões uraníferas de Caetité-BA e Santa Quitéria-CE. Além disso, o setor trabalha visando sua autossuficiência em relação aos recursos estatais e a produção em escala industrial de todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, garantindo o atendimento da demanda interna e a independência do mercado externo do urânio enriquecido para a produção do combustível nuclear.

Dessa forma, verificou-se a necessidade de implementação de algumas medidas que visam tornar este setor mais dinâmico e menos dependente dos recursos estatais, transformando essa riqueza existente no subsolo em benefícios para a sociedade brasileira. Com isso, as seguintes sugestões foram visualizadas:

A reorganização desse setor passa pela implementação de um novo marco regulatório, modernizando o previsto no inciso XXIII, do artigo 21, da CF/88, já que esse dispositivo constitucional inviabiliza a participação do capital privado no setor de mineração de urânio, pois essa norma legal deixa claro que toda a atividade de pesquisa, extração, confecção e manejo de elementos que podem dar origem a processos nucleares são monopólio do Estado. A flexibilização do monopólio estatal, significa estabilidade jurídica, previsibilidade e segurança aos investidores privados;

A entrada do capital privado (**com controle estatal**) neste setor pode significar a garantia de recursos e maior flexibilidade operacional para a retomada da produção nacional de urânio, trazendo desenvolvimento econômico e social para o país, pois abre o mercado de pesquisa e lavra de minérios e minerais nucleares para outros países e empresas privadas, criando as condições para que o País possa participar do mercado internacional de urânio;

A conclusão das obras de Angra 3 é estratégica e fundamental para o setor de mineração de urânio, sua entrada em operação significa um ganho de escala significativo que viabiliza todo o ciclo do combustível nuclear;

A sustentabilidade no aporte de recursos para a conclusão da implantação da UCEU, cuja capacidade instalada de enriquecimento será equivalente às necessidades das usinas nucleares existentes e da futura Angra 3; e

A participação do Brasil no mercado internacional de urânio, buscando a exportação de produtos e serviços de alto valor agregado, trazendo divisas e sustentabilidade financeira para as INB. Com isso, o desenvolvimento pleno do ciclo do combustível nuclear em escala industrial, significa empregos de alto valor agregado, desenvolvimento socioeconômico nas regiões impactadas pelas atividades desenvolvidas pela INB, diminuição dos custos de operação (OPEX) das usinas nucleares, independência e soberania do mercado externo, ou seja, melhoria da qualidade de vida das pessoas através do uso pacífico das tecnologias nucleares.

O estudo mostrou o importante papel a desempenhar pela fonte nuclear na geração de energia elétrica no País. A geração nuclear é a única fonte capaz de garantir o provimento contínuo de energia, garantindo a segurança energética e a flexibilidade necessária ao SIN. Além disso, é uma fonte barata, segura e de elevado fator de capacidade. Por ser capaz de operar na base, possibilita aos reservatórios das hidrelétricas exercerem um papel de regulador das fontes renováveis intermitentes.

Além disso, vem ao encontro dos princípios de sustentabilidade, pois gera energia de base, com alto grau de confiabilidade e operando continuamente, gera empregos e rendas, possibilita o processo de descarbonização da matriz energética e colabora para que o Brasil atenda seus compromissos internacionais de emissão GEE. Assim, os empreendimentos nucleares se constituem e um importante fator de alavancagem do desenvolvimento nacional e de prosperidade de sua população.

O Brasil deve estar atento a tendência internacional de construção em paralelo dos novos empreendimentos nucleares. Essa técnica possibilita a diminuição do CAPEX, por compartilhar canteiros de obras e mão de obra. Além disso, se faz necessário a regulamentação do §6º do Artigo 225 da CF/88, o qual determina que as usinas que operem com reator nuclear deverão

ter sua localização definida em lei federal. A dependência de uma Lei Federal somados ao tempo requerido de licenciamento e construção, pode inviabilizar novos projetos ou aumentar muito os indicadores CAPEX e OPEX, prejudicando a competitividade dessa fonte.

Assim como na mineração, o capital privado é fundamental para a ampliação da fonte nuclear no Brasil, pois abrirá o mercado para o investimento de países ou novas empresas na exploração de urânio e na construção de novas usinas nucleares, diminuindo a dependência dos recursos estatais. A criação de um novo modelo de empreendimento que não seja exclusivamente estatal se torna um fator crítico de sucesso para a Eletrobrás em sua estrutura de capital. Dessa forma, o estudo aponta que a solução passa pela criação de um modelo que possibilite a participação da iniciativa privada na execução dos próximos empreendimentos nucleares.

Da mesma forma, o desenvolvimento e a construção do LABGENE pelo CTMSP terá o mesmo impacto estratégico que o desenvolvimento do ciclo do combustível nuclear. A partir do LABGENE, será possível projetar e construir futuros reatores de potência, com tecnologia exclusivamente nacional, com capacidade para induzir toda uma cadeia produtiva na indústria nuclear brasileira. Por ser um reator de pequeno porte e modular, o País terá a oportunidade de construir PCH, atendendo a demanda de energia elétrica em regiões remotas, não atendidas pelo SIN, ou em locais como plataformas ou instalações *off shore*.

Constatou-se que a medicina nuclear é pouco conhecida, sua utilização é pequena em relação ao tamanho da população brasileira. Essa área, pode ser considerada como a de maior percepção dos benefícios do uso pacífico das tecnologias nucleares, devido a sua dimensão social e a sensibilidade que a temática saúde gera nas pessoas. A democratização e a expansão do seu uso, cujos SMN crescem na ordem 10% ao ano, está relacionada a capacidade de produção de seus insumos, limitada pela dependência externa do setor, com destaque para o Mo-99.

Pode-se inferir que a sustentabilidade e a estruturação do setor de medicina nuclear depende da construção do RMB. Esse empreendimento, é um pré-requisito para o atendimento da demanda interna do Mo-99 e a autossuficiência na produção de radioisótopos no Brasil, contribuindo para a expansão e o acesso dos SMN pelo cidadão brasileiro. Cabe destacar a participação da AMAZUL, coexecutora das etapas de implantação junto com a empresa argentina INVAP, e a do CTMSP que desenvolveu ultracentrífugas em cascatas específicas para a produção do combustível nuclear para o RMB.

Por meio da pesquisa realizada, foi verificado que a produção de radiofármacos é realizada por reatores de pesquisa sob a gestão da CNEN e a sua comercialização representa

95% dos ganhos da Instituição. Entretanto, esses ganhos não se convertem em alocação orçamentária para o custeio da produção. Com isso, um novo modelo de gestão, garantindo a autonomia administrativa dos recursos financeiros, traria reflexos positivos ao setor de medicina nuclear, principalmente nas questões de manutenção e disponibilidade da cadeia produtiva do sistema CNEN, evitando soluções de continuidade como o ocorrido com a CRCN-NE.

O estudo mostrou como as tecnologias nucleares podem mudar a realidade do agronegócio brasileiro através do melhoramento genético das plantas; a substituição de produtos químicos por técnicas mais avançadas e menos poluentes; auxiliar no controle de pragas; e melhora a qualidade e a conservação dos alimentos produzidos. Com isso, o poder transformador dessas técnicas, podem revolucionar os ganhos de produtividade, aumentar a oferta de alimentos na mesa dos brasileiros, mitigar o desperdício e ser uma importante ferramenta no combate a fome no País.

Além disso, foi possível constatar que essas tecnologias estão presentes nas atividades industriais e na conservação e recuperação do meio ambiente. Nas indústrias, a tecnologia nuclear estão voltadas para a melhoria da qualidade dos processos, fornecendo produtos e serviços de alta qualidade e que atenda às necessidades do consumidor.

O estudo apontou o caráter estratégico, social e disruptivo do Projeto DES-SAL, como sendo um empreendimento com potencialidade de garantir a sustentabilidades hídrica, energética e alimentar, revertendo o cenário de escassez e sofrimento vividos pelas pessoas que residem nas regiões brasileiras assoladas pela seca. Esse Projeto, fruto da parceria formada entre a CNEN, o CTMSP e a UFRJ, apresenta-se como uma solução economicamente viável já que o país possui consideráveis reservas de urânio e domina o ciclo do combustível nuclear.

Verificou-se nesta pesquisa que ainda é muito forte o preconceito, a desconfiança e a aversão pela sociedade sobre o uso pacífico das tecnologias nucleares. Essa percepção negativa do setor nuclear, é consequência de seu uso bélico no passado, onde a humanidade pode tomar conhecimento do seu caráter destrutivo, dos acidentes nucleares ocorridos ao redor do mundo, pelo desconhecimento do assunto e pela grande campanha de desinformação a respeito do setor. Entretanto, estudos apontam que quando as pessoas são informadas e esclarecidas dos seus benefícios, principalmente por jovens estudantes, a rejeição do seu uso se torna muito menor.

Diante dessa análise, pode-se obter as seguintes conclusões:

A energia nuclear é a energia da vida, seu uso está cada vez mais presente na vida das pessoas, traduzindo-se em geração de energia, saúde com diagnósticos e medicamentos mais inteligentes, preservação do meio ambiente através do uso racional de seus recursos, ganhos de

produtividade e uma maior oferta de alimentos através da mitigação do desperdício, soberania e independência tecnológica e multiplicação das capacidades de defesa do País. Tudo isso, traduzindo-se em: segurança e defesa, qualidade de vida e bem-estar social para a sociedade brasileira. A aceitação pública dessas tecnologias é fundamental para que elas sejam utilizadas em larga escala.

O desenvolvimento do setor nuclear brasileiro está inteiramente ligado à Marinha, desde o seu início, pois a tecnologia nuclear é intransferível, ou seja, nenhum País passa para o outro. O desafio em desenvolver um submarino com propulsão nuclear, obrigou esta Força a dominar o ciclo do combustível nuclear e a obter a capacidade para projetar e construir um reator de propulsão naval, o LABGENE. Esses dois empreendimentos, chaves para o desenvolvimento nuclear e sendo o propósito básico do PNM, transformaram o PROSUB no maior programa de transferência de tecnologia do Brasil, tendo uma capacidade transformadora imensurável para a sociedade brasileira, impactando positivamente em todas as áreas do convívio humano.

Alinhado com a PND e a END, a importância do PNM, com destaque para o PROSUB, para o Brasil não está apenas em dotar o Poder Naval brasileiro com um submarino com propulsão nuclear, mas em ampliar de forma significativa as capacidades de Negação do Uso do Mar e ser decisivo para a dissuasão e a soberania plena nas AJB. Além disso, ser um catalizador do desenvolvimento tecnológico nacional, com significativas entregas positivas para a sociedade por meio da geração de novos conhecimentos, empregos altamente qualificados e renda.

Além disso, possuir um SNBR, aproxima o nível tecnológico brasileiro junto aos países que atualmente compõem o Conselho de Segurança da ONU, onde todos operam Submarinos Nucleares em suas Marinhas.

REFERÊNCIAS

ANVISA. **Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) nº 21, de 26 jan. 2001.** Disponível em: <<https://www.saude.rj.gov.br/comum/code/MostrarArquivo.php?C=MjIzNw%2C%2C>>.

Acesso em: 24 abr. 2021.

ARAÚJO, Gustavo Porpino de. **Quais os porquês do desperdício de alimentos entre consumidores? Compreendendo o comportamento do consumidor para delinear soluções.** In: ZARO, M. (Org.) Desperdício de alimentos: velhos hábitos, novos desafios. Caxias do Sul: Educas, 2018. Disponível em: <<http://www.bdpa.cnptia.embrapa.br/consulta/busca?b=pc&id=1096046&biblioteca=vazio&busca=1096046&qFacets=1096046&sort=&paginacao=t&paginaAtual=1>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6024: **Informação e documentação** – numeração progressiva das seções de um documento escrito – apresentação. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES NUCLEARES. **Curso gratuito de tecnologia nuclear sem mistério** (ABDAN, 2020): Disponível em: <<https://ntce.com.br/webinars/curso-tecnologia-nuclear-sem-misterios-2/>>. Acesso em: 2 abr. 2021.

BARATA, Bernardo Mendes. **Sob nova direção, Amazul quer traduzir em números sua contribuição à sociedade.** Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 26 nº 50, 2019, p. 28-29. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/713/713.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2021.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil, 1988.** Brasília: Casa Civil, 1988. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **Estratégia Nacional de Defesa.** Brasília: Ministério da Defesa, 2008. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2008/decreto/d6703.htm>. Acesso em: 3 jun. 2021.

_____. **Indústria de Defesa: Plano de Articulação e Equipamento de Defesa (PAED).** Brasília: Ministério da Defesa, 2020. Disponível em: <<https://www.defesa.gov.br/industria-de-defesa/paed>>. Acesso em: 9 mar. 2021.

_____. **Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN).** Brasília: Ministério da Defesa, 2020. Disponível em: <https://www.defesa.gov.br/arquivos/estado_e_defesa/livro_branco/livrobranco.pdf>. Acesso em: 9 mar. 2021.

_____. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa.** Brasília: Ministério da Defesa, 2012. Disponível em: <https://www.gov.br/defesa/pt-br/arquivos/estado_e_defesa/END-PNDa_Optimized.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **Política Nuclear Brasileira.** Brasília: GSI-PR, 2018. Disponível em: <https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/53757734/do1-2018-12-06-decreto-n-9-600-de-5-de-dezembro-de-2018-53757633>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CAMARGO, Guilherme. **O Fogo dos Deuses: uma história da energia nuclear: Pandora 600 a.C – 1970**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2006.

CAMARGO, Gustavo. **A esperança no fundo da caixa**. REVISTA BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 19 nº 42, 2014, p. 28-29. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/284/284.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CARDOSO, Eliezer de Moura. **Apostila educativa: Aplicações da Energia Nuclear**. Rio de Janeiro: Comissão Nacional de Energia Nuclear, 2012. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/material-divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/aplicacoesdaenergianuclear.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

CARMONA, Ronaldo. **O retorno da geopolítica: a ascensão dos BRICS**. Austral: Revista Brasileira de Estratégia & Relações Internacionais | e-ISSN 2238-6912 | ISSN 2238-6262| v.3, n.6, jul.-dez. 2014 | p. 37-72.

CENTRO DE DESENVOLVIMENTO DA TECNOLOGIA NUCLEAR. **Estudos sobre estabilidade de barragens utilizam técnicas com traçadores** (CDTN, 2020). CDTN Informa, nº 11- Ano 3, fevereiro-março, 2020. Disponível em: <<https://www.cdtm.br/newsletter/edicoes-antiores>>. Acesso em: 27 abr. 2021.

COTTA, Renato Machado. **LABGENE e DESSAL: Perspectivas e Oportunidades**. I Simpósio de Tecnologias Nucleares - Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/dgdntm/sites/www.marinha.mil.br/dgdntm/files/arquivos/9-%20Aplica%C3%A7%C3%A3o%20de%20Reatores%20Modulares%20-Prof.%20Dr.%20Cotta-%20DGDNTM%20MB.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

DANTAS, Vera. **As lições de Fukushima**. REVISTA BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 16 nº 38, 2012, p. 14-18. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/46/46.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **O submarino nuclear é o projeto de maior dimensão em execução no país**. REVISTA BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 19 nº 42, 2014a, p. 4-6. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/284/284.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **Projeto Santa Quitéria avança com audiências públicas**. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 20 nº 43, 2014b, p. 20-23. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/330/330.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **É hora do nuclear ser considerado sem preconceitos**. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 20 nº 43, 2014c, p. 4-7. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/330/330.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **Térmicas avançam na matriz elétrica brasileira**. REVISTA BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 19 nº 42, 2014d, p. 7-10. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/284/284.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **A mudança da imagem da energia nuclear.** Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 21 n° 45, 2016, p. 24-25. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/508/508.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **DES-SAL: do mar para as torneiras.** Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 22 n° 46, 2017, p. 14-17. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/509/509.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **Estamos vendo nossos objetivos se tornarem realidade, entrevista ao Almirante Bento Costa Lima Leite de Albuquerque Jr.** BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 23 n° 47, 2017, p. 4-6). Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/562/562.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **As ações da Eletronuclear para retomar as obras de Angra 3.** BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 23 n° 47, 2017, p. 20-23). Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/562/562.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **O Projeto Nuclear de Álvaro Alberto (Registro Histórico).** REVISTA BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 25 n° 49, 2018a, p. 26-29. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/603/603.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

_____. **A capacitação adquirida com o SN-BR será uma vitória que vai além do setor militar, entrevista ao Almirante de Esquadra Eduardo Bacellar Leal Ferreira.** REVISTA BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 25 n° 49, 2018b, p. 4-7. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/603/603.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

DUROVNI, Moisés. **Cadeia de valor estabelecida pelo Programa Nuclear da Marinha: fator de desenvolvimento econômico.** Monografia (Formação no Curso de Política e Estratégia Marítimas) – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.redebim.dphdm.mar.mil.br/vinculos/000008/00000847.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, **Plano Nacional de Energia – 2050 (PNE 2050):** Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Plano-Nacional-de-Energia-2050>>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ESCOLA DE RELAÇÕES INTERNACIONAIS (FGV RI). **Perspectivas para a Governança Nuclear no Brasil.** Disponível em: <https://ri.fgv.br/sites/default/files/noticias/arquivos-relacionados/Perspectivas_para_a_governanca_nuclear_no_Brasil%20-%20site.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021.

FERREIRA, Vinícius V. M.; SOARES, Wellington A. **Insucessos em empreendimentos nucleares devido a falhas em processos de comunicação pública.** Intercom – RBCC São Paulo, v.35, n.2, p. 313-329, São Paulo, jul./dez. 2012. Disponível em: <<https://www.scielo.br/pdf/interc/v35n2/16.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

FGV ENERGIA, **Boletim de Conjuntura do Setor Energético, Fev. 2019**. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/fevereiro-2019_final.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2021.

_____, **Energia Nuclear**, abr. 2016, Ano 3, nº 6, ISSN 2358-5277. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/pdf_fgv-energia_web.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2021.

FGV PROJETOS, **O futuro energético e a geração nuclear**, nº 19, 2013. Disponível em: <<https://fgvprojetos.fgv.br/publicacao/o-futuro-energetico-e-geracao-nuclear>>. Acesso em: 29 mar. 2021.

FREITAS, Luciana. **A corrida pela modernização do setor elétrico brasileiro**. Revista O Setor elétrico Ano 15, Edição 168, Jan/Fev de 2020, ISSN 1983-0912, p. 52-62. Disponível em: <https://issuu.com/revistaosetoreletrico/docs/edicao_168_finaisimples>. Acesso em: 15 abr. 2021.

GUARDIA, Eloyza. **RMB: em 2018, autossuficiência na produção de radioisótopos**. REVISTA BRASIL NUCLEAR. Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 19 nº 40, 2013, p. 8-11. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/48/48.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

GUIMARÃES, Leonam dos Santos. **Salvaguardas nucleares e o caso especial de Brasil e Argentina**. 13 fev. 2011. Disponível em: <<https://operamundi.uol.com.br/opiniaio/17083/salvaguardas-nucleares-e-o-caso-especial-de-brasil-e-argentina>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

IBRACON, **56º Congresso Brasileiro de Concreto**, 2014-IBRACON, ISSN 2175-8182. Disponível em: <<http://www.ibracon.org.br/eventos/56cbc/parte1.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2021.

INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Relatório Integrado 2019 (INB, 2019)**: Disponível em: <https://www.inb.gov.br/Portals/0/Documentos/rel_gestao_2019.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. **Projeto prevê construção de reator nuclear que torna água do mar potável** (IPEN, 2016). Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=7061>.

JUNIOR, Joaquim Aparecido Ribeiro. **Um estudo simplificado da percepção pública dos benefícios e riscos de centrais term nucleares: sugestões para a comunicação de valor com o público**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Reatores) – IPEN/Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Joaquim%20Aparecido%20Ribeiro%20Junior_M.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

LACERDA, Jéssica Silva; LEITE, Thiago Soares. **Consumo de alimentos irradiados: desafios de credibilidade e confiança**. Faculdades Oswaldo Cruz, Revista Acadêmica, ano 4, n. 16 out.-dez. 2017. Disponível em: <https://oswaldocruz.br/revista_academica/content/pdf/Edicao_16_LACERDA_J%C3%A9ssica_Silva.pdf>. Acesso em: 3 jun. 2021.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Maria de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 8 ed. São Paulo: Atlas, 2017. ISBN 978-85-970-1076-3.

LIRA, Elda Vilaça de. **Os Benefícios do Uso da Energia Nuclear. Monografia (requisito parcial para obtenção do título de Licenciado em Geografia) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015. Disponível em: <[https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/ Public/46/116/46116418.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/46/116/46116418.pdf)>. Acesso em: 24 abr. 2021.**

LUCA, Rafael de. **PROPOSTA DE GERAÇÃO DE ENERGIA E ÁGUA POTÁVEL PARA A REGIÃO SEMI-ÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO**. Monografia (Pós-graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/38510>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MALISZEWSKI, Eliza. **Brasil debate irradiação em alimentos**. AGRO LINK. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/noticias/brasil-debate-irradiacao-em-alimentos_448596.html>. Acesso em: 24 abr. 2021

MAPA. **INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 9, 24 FEV. 2011**. Disponível em: <https://members.wto.org/cnattachments/2011/sps/BRA/11_0715_00_x.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MARINHA DO BRASIL. **Amazul anuncia centros de irradiação de alimentos no XI Seminário de Energia Nuclear**. Disponível em: <<https://www.marinha.mil.br/noticias/amazul-anuncia-centros-de-irradiacao-de-alimentos-no-xi-seminario-de-energia-nuclear>>. Acesso em: 24 abr. 2021

MARIZ, Carlos Henrique da Costa. **Novas Usinas Nucleares no Brasil - Uma necessidade para o desenvolvimento do país**. Disponível em: <<http://www.aben.com.br/Arquivos/402/402.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MARTINS FILHO, João Roberto. **O Projeto do Submarino Nuclear Brasileiro**. Contexto Internacional, [online], v. 33, n. 2, 2011. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/cint/a/DnWMLkPj5h9nC7QphZ8PzZH/?lang=pt>>. Acesso em: 3 jun. 2021.

MENDONÇA, Vanessa. **Medicina Nuclear: um caminho eficaz no diagnóstico e tratamento de doenças**. MARINHA EM REVISTA. Mostrando nossa Força, ano 9, nº 13, 2019, p. 28-31. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/marinha_em_revista_n13_2019_v2/book.html>. Acesso em: 15 abr. 2021.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÃO E COMUNICAÇÕES. **Relatório de Gestão do Exercício de 2018** (CNEN, 2018). Disponível em: <http://antigo.cnen.gov.br/images/cnen/documentos/acesso_a_informacao/Rel-gestao-2018.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Palestra alerta para desperdício de alimentos** (MMA, 2017). Disponível em:

<<https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2017/06/23/137378-palestra-alerta-para-desperdicio-de-alimentos.html>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

MODANEZ, Leila. **Aceitação de alimentos irradiados: uma questão de Educação.** Monografia (Doutorado em Tecnologia Nuclear - Aplicações) – IPEN/Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em: <http://pelicano.ipen.br/PosG30/TextoCompleto/Leila%20Modanez_D.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MONTEIRO, Nilton de Araújo. **Percepção pública da energia nuclear e estratégias para uma melhor comunicação.** Monografia (Mestrado em Engenharia Nuclear) – COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <http://antigo.nuclear.ufrj.br/MSc%20Dissertacoes/2013/dissertacao_Nilton_Monteiro.pdf>. Acesso em: 24 abr. 2021.

MOTTER, Andressa. **11 utilidades da Energia nuclear.** Revista Arco - Jornalismo Científico e Cultural. Disponível em: < <https://www.ufsm.br/midias/arco/11-utilidades-da-energia-nuclear/>>. Acesso em 27 abr. 2021.

POZZO, Lorena *et al.* **O SUS na medicina nuclear do Brasil: avaliação e comparação dos dados fornecidos pelo Datasus e CNEN.** Radiol Bras. maio/jun. 2014; 47(3):141–148. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rb/a/FCWc9yQKpxxhLYt8CP4Yq9S/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 5 abr. 2021.

REVISTA BRASIL NUCLEAR. **Presença de urânio na água e em solo de Caetité deve-se a fatores ambientais.** Informativo da Associação Brasileira de Energia Nuclear Ano 16 nº 38, 2012, p. 10-13. Disponível em: < <http://www.aben.com.br/Arquivos/46/46.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020

SARAIVA, Geraldo José de Pontes. **Energia Nuclear no Brasil - fatores internos e pressões externas.** Cadernos de Estudos Estratégicos nº 8, ago. 2007, Centro de Estudos Estratégicos da Escola Superior de Guerra. Disponível em: <<https://www.esg.br/publi/arquivos-cadernos/CEE008.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

SILVA, Aline Scheer da. **Radiação gama na indução de variabilidade em cultivares de arroz irrigado.** Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade de Pelotas, Pelotas, 2010. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/fisiologiavegetal/files/2017/06/d7ff448d01.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

SILVA, M. G. e GUIMARÃES, L. S, “**Uso do Índice de Desenvolvimento Humano como instrumento de projeção de demanda de energia elétrica,**” *Economia e Energia*, vol. 86, 2012.

VILLELA, Flávia. **Só 6% dos serviços de medicina nuclear são públicos, diz associação.** Agência Brasil. Disponível em: < <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2016-11/so-6-dos-servicos-de-medicina-nuclear-sao-publicos-diz-associacao>>. Acesso em: 24 abr. 2021.

