

REATORES DUAIS

JOSÉ AUGUSTO ABREU DE MOURA*
Capitão de Mar e Guerra (Ref^º)

SUMÁRIO

Introdução
A infraestrutura implantada
A demanda por energia nuclear
A solução tecnológica
 As usinas nucleares *offshore*
A oportunidade
Conclusão

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de tecnologias no setor de defesa que tenham posterior aproveitamento no uso civil, ou seja, a dualidade tecnológica civil-militar, é um fator importante nas considerações relativas à Base Industrial de Defesa (BID), sendo que este caso é denominado *spin-off* e o caso do aproveitamento de tecnologias de uso civil para sistemas militares é chamado *spin-in*. (AMARANTE, 2012, p. 32)

Tais casos são mais frequentes do que se supõe. No plano internacional, há muitos exemplos, como a internet e o *Global Positioning System* (GPS). No nacional, isso também já aconteceu. Citem-se o desenvolvimento e a fabricação de sonares (80 unidades) pela Universidade de São Paulo (USP), para a Marinha do Brasil (MB), no contexto da mobilização para a Segunda Guerra Mundial (1939-1945), tecnologia depois passada à indústria para a produção de ecobatímetros, equi-

* Mestre e doutor em Ciências Navais pela Escola de Guerra Naval (EGN), doutor em Ciência Política pela Universidade Federal Fluminense (UFF) e professor do Programa de Pós-Graduação em Estudos Marítimos (PPGEM) da EGN.

pamentos aplicados nas embarcações em geral (ASSOCIAÇÃO, 2011), um caso típico de *spin-off*.

No caso da energia nuclear, o país pioneiro – Estados Unidos da América (EUA) – teve suas Forças Armadas à testa no início do desenvolvimento, porque a motivação consistia na produção de armas nucleares, também no contexto da Segunda Guerra Mundial, ocorrendo, depois, o *spin-off*, com a construção de usinas de geração de energia elétrica. Com o Brasil não ocorreu assim. A obtenção da tecnologia de enriquecimento de urânio foi o núcleo do Acordo Brasil-Alemanha Ocidental de 1975, mas essa tentativa foi frustrada por ação dos EUA junto aos alemães e à Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), provocando o fornecimento de uma tecnologia sabidamente ineficaz e a assinatura de um acordo de salvaguardas extremamente restritivo.

Nessas condições, o Governo apelou para as Forças Armadas, cabendo à Marinha o desenvolvimento da tecnologia de enriquecimento de urânio por ultracentrifugação – a que se sabia eficaz e fora negada no Acordo –, com a motivação de criar condições para a construção de um submarino de propulsão nuclear, necessidade estratégica então vislumbrada, tendo em vista que o combustível para tais meios navais, fabricado com urânio enriquecido, não é passível de importação e é semelhante ao que aciona as usinas. (NEDAL, 2011)

Assim, a Marinha do Brasil foi envolvida, mas no sentido inverso das Forças Armadas dos países desenvolvidos, ou seja, empenhando-se em um empreendimento de escopo nacional, para criar condições de produzir um sistema militar de seu interesse – no que continua ativa até os dias atuais, ação que escapa aos conceitos de *spin-off* e *spin-in*, que pressupõem

um aproveitamento de tecnologias de um fim para outro, não seu desenvolvimento intencional desde o início, para um fim que não é o de interesse direto da Força.

No caminho trilhado até o presente, várias foram as conquistas obtidas para benefício do País, culminando com o domínio tecnológico do ciclo de produção do combustível nuclear, a fabricação continuada de parte do combustível para a usina Angra I e a capacidade de produzir diversos equipamentos do setor, frutos da infraestrutura implantada, mesmo antes da construção do submarino nuclear.

A INFRAESTRUTURA IMPLANTADA

O desenvolvimento do submarino de propulsão nuclear inclui dois programas da MB: o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (Prosub), que abrange o casco e equipamentos da unidade (assim como de quatro submarinos convencionais) e conta com a transferência de tecnologia francesa do Naval Group (empresa antes denominada Direction des Constructions Navales Services – DCNS), decorrente do acordo Brasil-França de 2008; e o Programa Nuclear da Marinha (PNM), que abrange o reator e toda a parte de geração de energia elétrica a partir dele para a propulsão, de responsabilidade da MB, sem qualquer auxílio estrangeiro.

O PNM, executado pelo Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP), compreende o projeto do ciclo do combustível nuclear, com o propósito de dominar a tecnologia de sua produção, e o projeto do Laboratório de Geração Nuclear-eleétrica (Labgene). (CTMSP, 2019)

Este último projeto replica a exitosa linha de ação adotada pelos norte-americanos quando do desenvolvimento do USS *Nautilus*, no início dos anos 1950 – o

primeiro submarino de propulsão nuclear da História –, e consiste num protótipo em terra do sistema propulsor, com equipamentos iguais aos que serão instalados na unidade. Trata-se de uma planta de energia nuclear de 48 MW de potência térmica, o que se estima capaz, se fosse o caso, de abastecer uma cidade de 20 mil habitantes, e que deverá ser prontificada até 2021. (CARVALHO JUNIOR, 2018, sl. 22 e 23)

Em 2012 foi completado o ciclo do combustível nuclear, conseguindo-se a fabricação do hexafluoreto de urânio (denominada tecnicamente “conversão”), o composto gasoso deste mineral necessário ao enriquecimento nas ultracentrifugas – o passo que faltava, ainda que em uma instalação-piloto, no Centro Industrial de Aramar (Cina), da Marinha do Brasil, em Iperó (SP). (DEFESANET, 2012)

A conversão é a única etapa da produção de combustível nuclear que, em termos industriais, ainda é feita totalmente no exterior, pois o Brasil ainda não tem escala para a construção de uma unidade fabril. (GÓES *et al.*, 2019)

A fabricação das ultracentrifugas, seu agrupamento em módulos denominados “cascatas”, bem como sua instalação e seu comissionamento, são realizados pelo Cina, mas elas são instaladas e operadas no complexo de Resende (RJ) das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), cuja atuação abrange desde a mineração do urânio até a fabricação das pastilhas de combustível. A INB está crescendo e,

em agosto de 2018, inaugurou a sétima cascata das dez que compõem a primeira fase da ampliação, com a qual produzirá 70% do combustível da usina Angra 1.

A segunda fase prevê a implantação de mais 30 cascatas, de um tipo mais moderno e já em testes no Cina, permitindo a autossuficiência, ou seja, a fabricação do combustível necessário às usinas Angra 1, 2 e 3, esta última ainda em construção, para o Reator Multipropósito Brasileiro (RMB), e para exportação (o que já tem ocorrido). Além disso, como o combustível das usinas contém urânio enriquecido a 5%, também está previsto

o fornecimento do hexafluoreto nesse nível para o Cina, a fim de lá prosseguir no enriquecimento até o grau necessário ao reator do submarino de propulsão nuclear. (SOUZA, 2019; CAIAFA, 2018)

Uma das instalações fabris com grande participação no Prosub e no PNM é a Nuclep – Nu-

clebrás Equipamentos Pesados S.A. A empresa, localizada em Itaguaí (RJ), é uma indústria de base produtora de bens de capital sob encomenda, que tem como propósito projetar, desenvolver, fabricar e comercializar componentes pesados empregados em usinas nucleares, construção naval, *offshore* e outras aplicações.

Em seu histórico constam, entre muitos outros itens fabricados, condensadores e acumuladores para a usina de Angra 2; geradores de vapor para Angra 1; o pressurizador, condensadores e acumuladores de Angra 3; parte do reator da usina argen-

O Brasil, ainda que não estando na dianteira da tecnologia nuclear, possui uma infraestrutura com considerável capacidade e crescente, o que pode ensejar o aproveitamento das oportunidades a médio prazo

tina de Atucha 1; o reator do Labgene; o reator e geradores de vapor do submarino nuclear; os cascos de três submarinos classe *Tupi*; os cascos dos quatro novos submarinos convencionais (S-BR); blocos estruturais para plataformas petrolíferas; e componentes para usinas hidrelétricas. (NUCLEP, 2019)

Vê-se, assim, que o Brasil, ainda que não estando na dianteira da tecnologia nuclear, possui uma infraestrutura com considerável capacidade, e ela está crescendo, o que pode ensejar o aproveitamento das oportunidades que parecem estar se delineando a médio prazo.

A DEMANDA POR ENERGIA NUCLEAR

Em 2011, com o tsunami que atingiu a Usina de Fukushima e produziu um vazamento que contaminou uma vasta região em torno, verificou-se uma onda de revisão de projetos semelhantes e o recrudescimento da propaganda contrária à energia nuclear, com forte efeito na opinião pública.

Na Alemanha e em outros países onde antes já havia planos para abandoná-la, os projetos foram acelerados; muitos países que estavam considerando sua adoção desistiram da ideia; no Japão, o Governo da época também pretendeu abandoná-la, mas o que se seguiu em 2013 mudou essa orientação com um plano que a considerava importante. De qualquer forma, as projeções globais de sua utilização no futuro mais distante passaram a ser inferiores às dos planos de antes do acidente, mas vários países comprometidos com essa linha de ação persistiram nela, de maneira que, em termos quantitativos, a mudança provocada pelo acidente foi relativamente pequena (ORGANISATION, 2017, pp. 22 e 59). O relatório de 2019

da World Nuclear Association corrobora tal informação mostrando uma sensível queda global da energia elétrica gerada por reatores nucleares em 2012, seguida por uma lenta ascensão que se estende até 2018, o último registro disponível. (WORLD, 2019, p. 10, fig. 1)

Assim, vê-se que, num mundo em que se faz a apologia das fontes renováveis, destacando-se nos últimos tempos a eólica e a solar, e onde a energia nuclear tem problemas sérios – proliferação de armas e riscos de contaminação –, ela continua sendo demandada.

Isto exige uma boa explicação. As usinas nucleares têm também vantagens: são extremamente confiáveis; nos EUA, são consideradas, de longe, as fontes mais confiáveis da matriz energética, operando 93% do tempo, mesmo em condições climáticas que restringem ou mesmo impedem o funcionamento das termelétricas; não dependem dos regimes de cheia-vazante dos rios; não acarretam a formação de lagos que impedem a utilização de grandes extensões úteis de terra como as hidrelétricas; e a potência elétrica gerada também não depende de variações sazonais ou diárias, como as eólicas e solares. Além disso, não emitem carbono, como as que usam combustíveis fósseis, aspecto extremamente oportuno, por ir de encontro às atuais exigências da comunidade internacional. (PONEMAN, 2019)

Em 2015 firmou-se, em Paris, o Acordo do Clima, nome pelo qual ficou conhecido o tratado estabelecido no âmbito da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas (*United Nations Framework Convention on Climate Change* – UNFCCC), convenção que tem o propósito de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, no contexto do desenvolvimento sustentável.

O Acordo visa fortalecer a resposta à ameaça de mudanças do clima e reforçar a capacidade dos países para lidar com os aspectos delas decorrentes, pretendendo manter o aumento da temperatura global em bem menos de 2°C acima dos níveis pré-industriais, se possível limitando-o a 1,5°C. (MINISTÉRIO, 2019)

A energia nuclear, ainda que não seja renovável, é classificada como fonte limpa pelo baixo nível de emissão de gases de efeito estufa associado ao seu uso, e recentes estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) e da Agência Internacional de Energia (IEA) a consideram fundamental para a redução dessas emissões. (FGV, 2019, p. 6)

Este último organismo inclusive, no estudo *Nuclear Power in a Clean Energy System*, considera que as políticas governamentais têm falhado ao não dar o devido valor à energia nuclear quanto a sua importância como fonte de baixo carbono e de segurança energética porque, sem o seu apoio, os esforços globais de transição para um sistema de energia limpa tornar-se-ão drasticamente mais difíceis e onerosos. As fontes solar e eólica devem desempenhar um papel muito maior para que os países alcancem as metas de sustentabilidade, mas é extremamente difícil visualizar como isso poderá ser conseguido sem a ajuda da nuclear. (BIROL, 2019, p. 2)

Tem-se, assim, duas motivações contrárias: a conveniência das usinas nucleoeletricas por razões ambientais e o temor das consequências de acidentes nucleares, especialmente numa época em

que desastres naturais nunca vistos estão ocorrendo, como o tsunami de 2004 e, especificamente no caso aqui tratado, o que provocou o acidente de Fukushima. Este problema exige uma solução tecnológica.

A SOLUÇÃO TECNOLÓGICA

Para atender a tais motivações, uma alternativa antiga está recebendo atenção de pesquisadores e governos em vários países – as usinas baseadas em reatores de pequeno porte, atualmente chamados *Small Modular Reactors* (SMR).

Na realidade, a AIEA define pequenos (*small*) reatores os de até 300 MWe (megawatts de potência elétrica), e os reatores

médios (*medium*) os de até 700 MWe. Juntos, eles aparecem nas publicações dessa Agência como SMR (*Small and Medium Reactors*); contudo, essa sigla tem sido mais usada como abreviatura de *Small Modular Reactors*, em que o

termo “modular” se deve à possibilidade de eles serem empregados isoladamente, em sistemas com reatores maiores, com fontes não nucleares, incluindo as renováveis, e mesmo para outras finalidades que não a geração de energia elétrica, como dessalinização e mineração. Existe ainda uma subcategoria, os reatores modulares muito pequenos (*very Small Modular Reactors* – vSMR), cuja potência fica em torno de 15 MWe, aplicáveis a comunidades ou aplicações de porte bem menor que as atendidas pelos SMR.

As usinas nucleares tradicionais têm, normalmente, mais de 1600 MWe, devido à economia de escala na operação, mas

A energia nuclear, ainda que não seja renovável, é classificada como fonte limpa pelo baixo nível de emissão de gases de efeito estufa associado ao seu uso

reatores bem menores têm sido fabricados – muitos deles para propulsão naval, criando uma vasta experiência nesse setor da Engenharia. Isto é conveniente, pois hoje, devido principalmente aos altos investimentos necessários para a construção das grandes usinas e à existência de sistemas elétricos de menor porte a serem abastecidos, há um movimento em direção a usinas menores. Uma razão a mais de interesse, pelo menos nos EUA, é que as usinas SMR se prestam a substituir prontamente, e no mesmo lugar, as termelétricas a carvão, facilitando o esforço pela redução de gases de efeito estufa.

Os SMR destinados à geração elétrica têm maior simplicidade de projeto, menor tempo de construção e menores custos de instalação no local onde operarão. Assim, devido ao menor porte e à modularidade, a usina pode ser quase completamente construída em fábrica e depois montada, instalada e posteriormente ampliada módulo por módulo, reduzindo o custo, aumentando o nível de qualidade e eficiência da construção e tornando seus projetos passíveis de serem realizados por empresas privadas, inclusive pequenas, como já ocorre em alguns países. (SMALL, 2019)

Sendo menores, eles implicam alto grau de segurança inerente ou passiva para o caso de avarias, ou seja, cumprem uma série de requisitos de projeto muito difíceis ou inviáveis nas que empregam reatores grandes, inclusive o posicionamento vertical mais baixo do reator, que proporcionam grande resiliência natural e contenção de efeitos prejudiciais, como

As usinas oceânicas são inerentemente mais seguras, por usarem sistemas que empregam a água do mar, com o reator abaixo da superfície

resistência estrutural e blindagem mais eficiente nas partes que contêm elementos radiativos e não-dependência de sistemas externos para a operação, por exemplo, usando sistema de água de refrigeração por gravidade, e não por bombas. (INGERSOLL, 2011)

Seu menor porte e as características acima tornam-nas de operação mais simples, adequadas a redes elétricas de menores dimensões e a países com menos experiência com energia nuclear. Além disso, têm menor necessidade de água de resfriamento, permitindo operação em regiões remotas e certas aplicações específicas, como mineração. Têm potencial para instalação subterrânea ou submarina do reator, provendo maior proteção contra desastres naturais (sísmicos ou tsunamis) ou provocados pelo homem (queda de aviões, por exemplo).

Em todo o mundo há, atualmente, três SMR operando, cinco em construção (inclusive o Carem 25, na Argentina), dez em fase de desenvolvimento avançado, 22 em estágios iniciais de desenvolvimento e seis vSMR sendo desenvolvidos. Diversas tecnologias são empregadas, inclusive a PWR (*Pressurized Water Reactor*), a mais comum, que é usada pelas usinas brasileiras e que será a do submarino de propulsão nuclear. (SMALL, 2019)

As usinas nucleares offshore

A ideia de colocar uma usina nucleoeletrica numa plataforma flutuante não é nova. Os EUA construíram a primeira, que operou entre 1968 e 1977, na Zona

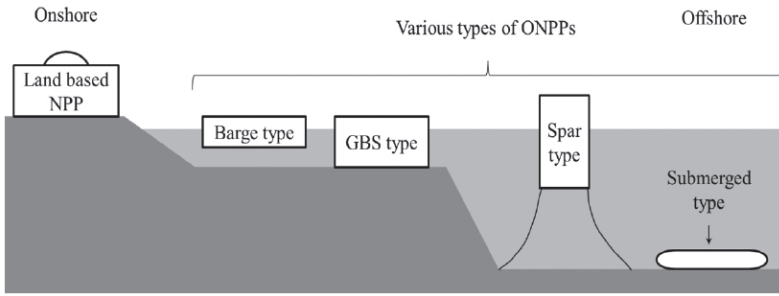


Figura 1 – Usinas nucleares oceânicas (LEE, 2015, p. 11.486)

do Canal do Panamá. Mas essa não tem sido uma prática habitual. (SMALL, 2019)

Atualmente, contudo, estão surgindo projetos de *Ocean Nuclear Power Plant* (ONPP), buscando não só a energia limpa e maior segurança contra acidentes nucleares, como seu provimento em regiões remotas onde a construção em terra seria difícil; maior proximidade dos utilizadores, mas com um certo afastamento das zonas urbanas, considerando que a população mundial se concentra nas regiões costeiras; e o atendimento a necessidades de energia em projetos específicos, como as ilhas artificiais no Mar do Sul da China. Tais projetos se beneficiam das tecnologias hoje maduras de reatores nucleares para propulsão naval.

As concepções existentes são as mostradas na Figura 1.

No conceito *barge*, a usina opera atracada; no GBS (*Gravity-based Structure*) Type, de um grupo de pesquisa sul coreano, a usina operaria assentada no fundo, próximo à costa; o *spar-type*, proposto pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), dos EUA, prevê uma usina fundeada por cabos que formariam uma catenária amortecedora; e o submerso, junto ao fundo, é o Flexblue, projeto francês, posteriormente cancelado, do Naval Group. (LEE, 2015; SMALL, 2019)

Os acidentes como os de Fukushima (2011) e Three Miles Island (1979) têm

tido sido causados não por problemas no reator, mas por falhas em seu resfriamento, cujos sistemas são passíveis de serem inabilitados (a segurança ativa, e não passiva) – em Fukushima, eram bombas d’água movidas por motores diesel, que ficaram inoperantes com o tsunâmi. As usinas oceânicas são, assim, inerentemente mais seguras, por usarem sistemas que empregam a água do mar, com o reator abaixo da superfície.

Das concepções expostas, a única implementação prática até o momento é o Akademik Lomonosov, construído pela estatal russa Rosatom, que, em agosto de 2019, iniciou sua viagem de 6 mil km, a reboque pelo Ártico, do porto de Murmansk para a remota região de Chukotka, na Sibéria, onde vai substituir uma termelétrica a carvão, abastecendo 50 mil pessoas e permitindo a extração de recursos naturais, quando entrar em operação em 2020.

Trata-se de uma grande barça de 21 mil toneladas, com 144 metros de comprimento e 30 de largura, abrigando uma usina com dois reatores de 35 MWe cada, com ciclo de vida de 40 anos, podendo ser estendido a 50. O projeto se insere na intenção do governo de desenvolver a região do Ártico, em face da previsão de o derretimento da calota de gelo tornar suas áreas mais acessíveis. (RUSSIA, 2019)

A China também está nesse processo. Em 2016, o país iniciou a construção

da primeira usina nuclear flutuante, visualizando a produção de 20 unidades, basicamente para uso civil, como o fornecimento de energia elétrica para plataformas de perfuração de petróleo. Em 2018, porém, o país anunciou que tais usinas seriam posicionadas no Mar do Sul da China para apoiar a exploração marítima de óleo e gás e a presença de seus nacionais nas ilhas Paracel e Spratly, implicando a solidificação da estrutura militar montada nessa região disputada por Taiwan, Filipinas, Malásia e Vietnã. (NGUYEN, 2018)

Em 2019 noticiou-se que a primeira usina seria comissionada em 2021 e que essa era a melhor alternativa para abastecer as ilhas artificiais, porque a transmissão a partir do continente era impraticável e a energia por elas produzida sairia a mais baixo preço que a de usinas convencionais a diesel. Segundo uma autoridade da empresa chinesa encarregada de projetar e construir as plataformas, o uso de usinas nucleares flutuantes é uma tendência crescente. (ASIA, 2019)

A OPORTUNIDADE

A tendência acima citada deve ser entendida como uma extensão da que preconiza os SMR na geração de energia elétrica em terra, ressaltando que estes têm sido projetados mesmo por firmas de pequeno porte, sendo que os de instalação em ambiente hídrico estão mobilizando as estruturas antes voltadas para plataformas petrolíferas ou submarinos nucleares, proporcionando a estas últimas a perspectiva de uma lucrativa aplicação da dualidade tecnológica em ambos os ambientes.

No Brasil, como exposto, a estrutura existente já tem produzido itens para a indústria e tem potencial para projetos

como os expostos, mas ainda devem ser cumpridos requisitos importantes, que, felizmente, parecem estar não muito distantes: a operação do primeiro reator nuclear do PNM (o do Labgene), que ensinaria projetos de usinas SMR terrestres, e a construção completa do submarino de propulsão nuclear, que poderia respaldar os de usinas oceânicas. Com isto, estarão criadas as condições para o aproveitamento da oportunidade que está se avizinando, o que, contudo, pode ser prejudicado pelos retardos motivados por restrições orçamentárias.

CONCLUSÃO

Em princípio, a dualidade não é uma meta primária, pois as necessidades estratégicas são independentes das econômicas, mas tem-se observado que grande número de produtos de uso civil teve origem em desenvolvimentos militares, e, além disso, o aproveitamento mútuo das tecnologias dos dois setores é economicamente desejável.

As tecnologias dos pequenos reatores navais, amadurecidas por mais de 50 anos, e as exigências ambientais e de segurança da atualidade estão abrindo uma janela de oportunidade às indústrias nuclear e de construção naval especializadas.

O Brasil, mesmo sem ter ainda construído seu submarino nuclear, dispõe de uma estrutura industrial voltada para esse setor, que, como já exposto, dá mostras de sua capacidade com um importante portfólio de realizações.

Assim, caso a tendência citada se afirme, as possibilidades de aproveitamento da janela de oportunidade por ela criada são promissoras para o aproveitamento dual das competências criadas com a construção do SN-BR *Álvaro Alberto*.

CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:
<CIÊNCIA & TECNOLOGIA>; Energia Nuclear; Inovação Tecnológica; Submarino Nuclear;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARANTE, José C. A. *A Base Industrial de Defesa Brasileira*. Texto para discussão 1.758. Agosto de 212. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea). Disponível em: http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/td_1758.pdf. Acesso em: 2/9/2019.
- ASIA Times Staff. “Ocean-going nuclear plants for South China Sea”. *Asia Times*. 21/3/2019. Disponível em: <https://www.asiatimes.com/2019/03/article/ocean-going-nuclear-plants-for-south-china-sea/>. Acesso em: 10/9/2019.
- ASSOCIAÇÃO Nacional dos Inventores. *Sonar Detector de Submarinos*. 30/10/2011. Disponível em: <http://blogdosinventores.com.br/sonar-detector-de-submarinos/>. Acesso em: 1/6/2019.
- BIROL, Fatih. *Nuclear Power in a Clean Energy System*. International Energy Agency. May 2019. Disponível em: https://webstore.iea.org/download/direct/2779?fileName=Nuclear_Power_in_a_Clean_Energy_System.pdf. Acesso em: 7/9/2019.
- CAIAFA, Roberto. “Inauguração da 7ª cascata de ultracentrífugas de urânio (INB)”. *Tecnologia e Defesa*. 14/9/2018. Disponível em: <http://tecnodefesa.com.br/inauguracao-da-7a-cascata-de-ultracentrifugas-de-uranio-inb/>. Acesso em: 8/6/2019.
- CARVALHO JUNIOR, Osvaldo M. “O Programa Nuclear da Marinha e o Prosub”. XX Curso de Extensão em Defesa Nacional. Montes Claros-MG, 18/10/2018. Disponível em: https://www.defesa.gov.br/arquivos/ensino_e_pesquisa/defesa_academia/cedn/xx_cedn/10_o_programa_nuclear_da_marinha_do_brasil_e_o_prosub.pdf. Acesso em: 27/5/2019.
- CTMSP – Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo. 2019. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/ctmsp/>. Acesso em: 10/6/2019.
- DEFESANET. “Programa Nuclear da Marinha representa um marco no enriquecimento de urânio no Brasil”. Brasília, 14/3/2012. Disponível em: <http://www.defesamet.com.br/naval/noticia/5151/Programa-Nuclear-da-Marinha-representa-um-marco-no-enriquecimento-de-uranio-no-Brasil>. Acesso 16/4/2019.
- FGV Energia. *Boletim de Conjuntura do Setor Energético*. Fevereiro 2019. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/fevereiro-2019_final.pdf. Acesso em: 5/9/2019.
- GÓES, Francisco; POLITO, Rodrigo; SOUZA, Marcos M. “Governo vai estimular parcerias para ampliar a produção de urânio”. *Valor Econômico*: Rio. 7/1/2019. Disponível em: <https://www.valor.com.br/brasil/6051649/governo-vai-estimular-parcerias-para-ampliar-producao-de-uranio?origem=G1>. Acesso em: 7/6/2019.
- INGERSOLL, Daniel T. *An Overview of the Safety Case for Small Modular Reactors*. Oak Ridge National Laboratory. 30/9/2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267618405_An_Overview_of_the_Safety_Case_for_Small_Modular_Reactors/link/556487a408ae89e758fd9022/download. Acesso em: 9/9/2019.
- LEE, Kang-Heon; KIM, Min-Gil; LEE, Jeong Ik; LEE, Phil-Seung. “Recent Advances in Ocean Nuclear Power Plants”. *Energies*. 14/10/2015. Disponível em: www.mdpi.com/journal/energies. Acesso em: 9/9/2019.
- MINISTÉRIO do Meio Ambiente. Acordo de Paris. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris>. Acesso em: 5/9/2019.
- NEDAL, Dani K. *The US and Brazil’s nuclear program*. FGV CPDOC. Centro de Relações Internacionais. 6/2011. Disponível em: <http://ri.fgv.br/dossie-1>. Acesso em: 17/9/2019.

- NGUYEN, Viet P. *China's Planned Floating Nuclear Power Facilities in South China Sea: Technical and Political Challenges*. Belfer Center for Science and International Affairs. 21/11/2018. Harvard Kennedy School. Disponível em: <https://www.belfercenter.org/publication/chinas-planned-floating-nuclear-power-facilities-south-china-sea-technical-and>. Acesso em: 14/9/2019.
- NUCLEP – Nuclebrás Equipamentos Pesados S.A. 2019. Disponível em: <http://nuclep.gov.br/pt-br/energia-nuclear>. Acesso em: 2/6/2019.
- ORGANISATION for Economic Co-operation and Development. Nuclear Energy Agency, 2017. *Impacts of the Fukushima Daiichi Accident on Nuclear Development Policies*. Disponível em: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/48/058/48058392.pdf. Acesso em: 24/6/2019.
- PONEMAN, Daniel B. “We Can’t Solve Climate Change without Nuclear Power”. Scientific American. 24/5/2019. Disponível em: <https://blogs.scientificamerican.com/observations/we-cant-solve-climate-change-without-nuclear-power/?redirect=1>. Acesso em: 3/6/2019.
- RUSSIA launches floating nuclear power plant Akademik Lomonosov. *Al Jazeera*. 22/8/2019. Disponível em: <https://www.aljazeera.com/news/2019/08/russia-launches-floating-nuclear-power-plant-akademik-lomonosov-190822145809353.html>. Acesso em: 15/9/2019.
- SMALL Nuclear Power Reactors. World Nuclear Association. Maio/2019. Disponível em: <https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/small-nuclear-power-reactors.aspx>. Acesso em: 8/9/2019.
- SOUZA, Davi. “INB lançará novos equipamentos para produção de combustível nuclear e prevê fornecimentos para submarino nuclear”. *Petronotícias*. 15/6/2019. Disponível em: <https://petronoticias.com.br/archives/113333>. Acesso 7/6/2019.
- WORLD Nuclear Performance Report 2019. World Nuclear Association. Disponível em: <https://www.world-nuclear.org/getmedia/d77ef8a1-b720-44aa-9b87-abf09f474b43/performance-report-2019.pdf.aspx>. Acesso em: 4/9/2019.