

ESCOLA DE GUERRA NAVAL

CMG(EN) PAULO HENRIQUE DA ROCHA

ECONOMIA E INDÚSTRIA DE DEFESA:

**Estratégias para o Ciclo do Combustível Nuclear Brasileiro:
Lições do *Cluster* Aeroespacial Brasileiro e do Ciclo do
Combustível Nuclear Francês.**

Rio de Janeiro

2024

CMG(EN) PAULO HENRIQUE DA ROCHA

**ECONOMIA E INDÚSTRIA DE DEFESA:
Estratégias para o Ciclo do Combustível Nuclear Brasileiro:
Lições do *Cluster* Aeroespacial Brasileiro e do Ciclo do
Combustível Nuclear Francês**

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

Orientador: CMG(IM) Leonardo F. do Amaral

Coorientador: Prof. Dr. Guilherme R. G. Marques – FGV

Rio de Janeiro
Escola de Guerra Naval

2024

DECLARAÇÃO DA NÃO EXISTÊNCIA DE APROPRIAÇÃO INTELECTUAL IRREGULAR

Declaro que este trabalho acadêmico: a) corresponde ao resultado de investigação por mim desenvolvida, enquanto discente da Escola de Guerra Naval (EGN); b) é um trabalho original, ou seja, que não foi por mim anteriormente utilizado para fins acadêmicos ou quaisquer outros; c) é inédito, isto é, não foi ainda objeto de publicação; e d) é de minha integral e exclusiva autoria.

Declaro também que tenho ciência de que a utilização de ideias ou palavras de autoria de outrem, sem a devida identificação da fonte, e o uso de recursos de inteligência artificial no processo de escrita constituem grave falta ética, moral, legal e disciplinar. Ademais, assumo o compromisso de que este trabalho possa, a qualquer tempo, ser analisado para verificação de sua originalidade e ineditismo, por meio de ferramentas de detecção de similaridades ou por profissionais qualificados.

Os direitos morais e patrimoniais deste trabalho acadêmico, nos termos da Lei 9.610/1998, pertencem ao seu Autor, sendo vedado o uso comercial sem prévia autorização. É permitida a transcrição parcial de textos do trabalho, ou mencioná-los, para comentários e citações, desde que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos e ideias expressas neste trabalho acadêmico são de responsabilidade do Autor e não retratam qualquer orientação institucional da EGN ou da Marinha do Brasil.

AGRADECIMENTO

À Deus, pela sua presença em todos os momentos.

À engenheira Nancy Akemi Sigaki que, com sua experiência no Programa Nuclear da Marinha, me auxiliou com sugestões nas pesquisas realizadas nesta tese, além de me suprir e complementar com todo o seu carinho e amor de esposa. Aos meus pais, filhos, noras e neto, pela motivação, suporte e fluídos de amor. À minha tia Carmem Silva Martin Guimarães pela revisão gramatical do texto.

Aos CA(EN) Sérgio Luís de Carvalho Miranda (DDNM), CA(EN) Marcos Fricks Cavalcante (DTE/INB), Professor Doutor Laércio Antônio Vinhas (CTMSP), CMG(RM1-EN) Materson Luis Dias de Sousa (INB), CMG(RM1-IM) Vanderlei Souza dos Santos (INB), CMG(RM1-T) Maurício Pires Malburg da Silveira (DGDNTM) e CMG(RM1) João Augusto Queiroz (EMBRAER) pelas conversas orientadoras e nas importantes coletas de dados durante as pesquisas realizadas.

Aos CMG(IM) Leonardo Freitas do Amaral e Professor Doutor Guilherme R. Garcia Marques, pelas orientações seguras e pelo constante apoio na condução das pesquisas realizadas ao longo do desenvolvimento desta tese.

Ao CF(RM1) Ohara Barbosa Nagashima, pelas orientações e *feedbacks* necessários para a boa condução da metodologia científica.

A todos os colegas e equipe do C-PEM-2024, sob a coordenação do CMG(RM1) Alexandre Motta de Sousa, pelo convívio fraterno e de camaradagem, proporcionando um ano de intensas e profícuas discussões e compartilhamento de experiências.

À Marinha do Brasil e à Escola de Guerra Naval, pela oportunidade de aprimoramento profissional que, juntamente com seus excelentes instrutores e professores, permitiram significativas análises e reflexões sobre as formas de melhorar nossas ações de estratégia e política marítimas e, assim, proporcionar mais segurança e soberania tecnológica para o nosso país.

*“Brasil: Tecnologia própria é
independência”*

Lema do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo

RESUMO

O Brasil é o sétimo país com maior reserva de urânio no mundo e a Marinha do Brasil já domina a tecnologia de todo o ciclo do combustível nuclear, mantendo parcerias estratégicas com a Indústrias Nucleares do Brasil (INB). Nesse contexto, esta tese buscou extrair lições que possam ser aplicadas no sentido de promover esta vital área estratégica para o país, analisando estudos de caso das empresas francesas que atuam diretamente no ciclo do combustível nuclear francês. Adicionalmente, tomando por base um caso de sucesso tecnológico nacional, foi analisado o *Cluster Aeroespacial Brasileiro*, tendo a EMBRAER como empresa âncora. A partir desses dois casos de sucesso, a tese busca estruturar lições que possam ser aplicadas no ciclo do combustível nuclear brasileiro, por meio da INB, visando conduzir o Brasil a explorar o seu potencial de se tornar um *player* internacional no fornecimento de produtos das fases do ciclo do combustível nuclear e alcançar receitas anuais similares às da EMBRAER, através de investimentos estratégicos.

Palavras-chave: ciclo do combustível nuclear, ciclo do combustível nuclear francês, *yellow-cake*, urânio enriquecido, hexafluoreto de urânio, *Cluster Aeroespacial Brasileiro*, *Cluster Nuclear Valley*, Indústrias Nucleares do Brasil, EMBRAER, investimentos estratégicos, *player* internacional, *cluster* tecnológico.

ABSTRACT

Strategies for the Brazilian Nuclear Fuel Cycle: Lessons from the Brazilian Aerospace Cluster and the French Nuclear Fuel Cycle

Brazil ranks as the seventh country with the largest uranium reserves in the world, and the Brazilian Navy already dominates the technology of the entire nuclear fuel cycle, maintaining strategic partnerships with the Indústrias Nucleares do Brasil (INB). In this context, this thesis sought to extract lessons that can be applied to promote this vital strategic area for the country by analyzing case studies of French companies directly involved in the French nuclear fuel cycle. Additionally, based on a successful national technological case, the Brazilian Aerospace Cluster, with EMBRAER as the anchor company, was also examined. From these two successful cases, the thesis aims to outline lessons that can be applied to the Brazilian nuclear fuel cycle through INB, positioning Brazil to explore its potential to become an international player in the supply of products from the nuclear fuel cycle phases and achieve annual revenues comparable to those of EMBRAER, through strategic investments.

Keywords: nuclear fuel cycle, French nuclear fuel cycle, yellowcake, enriched uranium, uranium hexafluoride, Brazilian Aerospace Cluster, Nuclear Valley Cluster, Indústrias Nucleares do Brasil, EMBRAER, strategic investments, international player, tech cluster.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Estágios de evolução dos clusters tecnológicos	26
Figura 2 - Fases do ciclo do combustível nuclear	32
Figura 3 - Previsão de construções e investimentos de reatores nucleares até 2040	35
Figura 4 – Preço internacional do yellow-cake (U ₃ O ₈) dos últimos anos	36
Figura 5 – Preço internacional urânio enriquecido	36
Figura 6 – Atuação das principais empresas que fornecem urânio enriquecido para o mercado internacional.	37
Figura 7- Principais instalações nucleares na França	54
Figura 8 – Ciclo do combustível nuclear brasileiro, coordenado pela INB	76
Figura 9 – Principais instituições envolvidas direta ou indiretamente no ciclo do combustível nuclear brasileiro, coordenado pela INB	85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Países que mais produzem energia nuclear	33
Tabela 2 - Principais valores financeiros da EMBRAER nos últimos 4 anos....	43
Tabela 3 - Distribuição das receitas de 2023 da EMBRAER, de acordo com as regiões mundiais	43
Tabela 4 - Principais características identificadas no Cluster Aeroespacial Brasileiro	48
Tabela 5 - Principais empresas que atuam no ciclo do combustível francês ...	56
Tabela 6 - Principais valores financeiros da ORANO nos últimos 4 anos	57
Tabela 7 - Distribuição das receitas de 2023 da ORANO: Regiões e Fases do Ciclo do Combustível	58
Tabela 8 - Capacidade atual da ORANO, por fase do ciclo do combustível	60
Tabela 9 – Principais valores financeiros da FRAMATOME nos últimos 4 anos	62
Tabela 10 – Fontes das receitas da ANDRA de 2022.....	64
Tabela 11 – Inventário anual de resíduos em 2023	65
Tabela 12 - Principais características identificadas no Nuclear Valley.....	68
Tabela 13 – Demanda para as fases do ciclo do combustível brasileiro versus a produção anual da INB.....	75
Tabela 14 – Principais valores financeiros da INB nos últimos 4 anos	79

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Brasil: Exportações de Peças de Aeronaves.....	50
Gráfico 2- Royalties recebidos pelo DCTA, via FUNCATE, versus valores orçamentários da Ação 20XB, 2017 a 2023.....	52
Gráfico 3 – Quantidade de U3O8, UF6 e urânio enriquecido importados pela INB, nos últimos sete anos.....	77
Gráfico 4 – Valores deflacionados das licitações realizadas pela INB, nos últimos sete anos, para suprir as demandas necessárias.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial
ABIMDE	Associação Brasileira das Indústrias de Materiais de Defesa e Segurança
ANS	<i>Autorité de Sûreté Nucléaire</i>
Apex-Brasil	Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos
APL	Arranjo Produtivo Local
APR	Arranjo Produtivo Regional
BID	Base Industrial de Defesa
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CAB	<i>Cluster Aeroespacial Brasileiro</i>
CEA	<i>Commissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives</i>
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CTA	Centro Técnico Aeroespacial
CTMSP	Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo
CT&I	Ciência, Tecnologia e Inovação
DCTA	Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial
DDNM	Diretoria de Desenvolvimento Nuclear da Marinha
DGDNTM	Diretoria Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha
EED	Empresa Estratégica de Defesa
ENBPar	Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional
END	Estratégia Nacional de Defesa
ETC	<i>Enrichment Technology Company</i>
FAB	Força Aérea Brasileira
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento de Ciência e Tecnologia
FUNCATE	Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais
IAEA	<i>International Atomic Energy Agency</i>
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços
ICT	Instituições de Ciência, Tecnologia e de Inovação
INB	Indústrias Nucleares do Brasil

IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares
ITA	Instituto Tecnológico de Aeronáutica
IFI	Instituto de Fomento e Coordenação Industrial
IEA	Instituto de Aeronáutica e Espaço
IEAV	Instituto de Estudos Avançados
ISS	Imposto Sobre Serviços
LABGENE	Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica
MB	Marinha do Brasil
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MOX	<i>Mixed Oxide Fuel</i>
OM	Organização Militar
ONU	Organização das Nações Unidas
PITSJC	Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos
PNB	Programa Nuclear Brasileiro
PND	Política Nacional de Defesa
PNE	Programa Nacional de Energia
PNM	Programa Nuclear da Marinha
PROSUB	Programa de Desenvolvimento de Submarinos
PTS	Parque Tecnológico de Sorocaba
RMB	Reator Multipropósito Brasileiro
SMR	<i>Small Module Reactors</i>
SWU	<i>Separative Work Unit</i>
USICON	Usina de Conversão de U ₃ O ₈ para UF ₆
WNA	<i>World Nuclear Association</i>

LISTA DE SIMBOLOS

U	Minério de urânio
U-235	Minério de urânio com massa atômica 235
U-238	Minério de urânio com massa atômica 238
UF6	Hexafluoreto de Urânio
UF4	Tetrafluoreto de Urânio
UO2	Dióxido de Urânio
U3O8	<i>yellow cake - Triuranium Octoxide</i>
R\$	Moeda em Reais
US\$	Moeda em Dólares
€	Moeda em Euros
t	Tonelada
UTS	Unidades de Trabalho Separativas
MWe	Mega Watts elétrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2 RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	17
1.3 METODOLOGIA	18
1.4 ESTRUTURA DO TEXTO	20
2 ASPECTOS TEÓRICOS E DOCUMENTOS CONDICIONANTES	22
2.1 INTRODUÇÃO	22
2.2 DOCUMENTOS CONDICIONANTES	22
2.3 BASE CONCEITUAL	24
2.3.1 Definição de <i>Clusters</i> Tecnológicos	24
2.3.2 <i>Joint Ventures</i>	28
2.3.3 Marcos Legais de Ciência, Tecnologia e Inovação e o apoio da FINEP para a inovação tecnológica	29
2.3.4 Ciclo do Combustível Nuclear	31
2.4 PERSPECTIVAS ATUAIS PARA A ENERGIA NUCLEAR	33
3 O CLUSTER AEROESPACIAL BRASILEIRO	39
3.1 INTRODUÇÃO	39
3.2 BREVE HISTÓRICO DA EMBRAER	40
3.3 CLUSTER AEROESPACIAL BRASILEIRO	44
3.4 PERSPECTIVAS FUTURAS	49
4 O CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR FRANCÊS	53
4.1 INTRODUÇÃO	53
4.2 PRINCIPAIS EMPRESAS FRANCESAS ENVOLVIDAS NO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	54
4.2.1 Empresa ORANO	56
4.2.2 Empresa FRAMATOME	61
4.2.3 Empresa ANDRA	63

4.3 <i>CLUSTER</i> TECNOLÓGICO – <i>NUCLEAR VALLEY</i>	65
4.4 PERSPECTIVAS FUTURAS E <i>INSIGHTS</i> IDENTIFICADOS	69
5 COMPARAÇÃO E APLICAÇÃO DE <i>INSIGHTS</i> DO <i>CLUSTER</i> AEROSPACIAL BRASILEIRO, DA EMBRAER E DO <i>NUCLEAR VALLEY</i> FRANCÊS NO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR BRASILEIRO.....	71
5.1 INTRODUÇÃO	71
5.2 O CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR BRASILEIRO	72
5.3 COMPARAÇÃO DE <i>INSIGHTS</i> E POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO NO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR BRASILEIRO	80
5.4 POTENCIAL ÁREA PARA UM <i>CLUSTER</i> TECNOLÓGICO NUCLEAR BRASILEIRO	84
6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	88
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa tem o propósito de analisar o ciclo do combustível nuclear francês e o *Cluster* Aeroespacial Brasileiro, com a EMBRAER como empresa âncora, no sentido de identificar *insights* aplicáveis ao ciclo do combustível nuclear brasileiro. Com a tecnologia da Marinha do Brasil (MB) e parcerias estratégicas com a Indústrias Nucleares do Brasil (INB), será explorada a possibilidade do Brasil se tornar um *player* internacional no fornecimento dos produtos das fases do ciclo do combustível nuclear, com possibilidade de alcançar receitas anuais significativas.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Visando contribuir para a descarbonização e aumentar a segurança energética de suas matrizes de geração, muitos países estão expandindo seus programas nucleares (WNA, 2023a). Governos ao redor do mundo estão investindo em novas tecnologias nucleares que prometem ser mais seguras, eficientes e menos dispendiosas, com arrastos tecnológicos e aplicações diretas na indústria, incluindo a dessalinização da água e a produção de hidrogênio.

Desta forma, essa tecnologia desempenha um papel relevante no cenário global de transição energética, visto que é considerada uma fonte de eletricidade com baixa emissão de carbono (WNA, 2023a). Adicionalmente, é considerada uma fonte de energia estável, com baixa possibilidade de variação na geração em função de fatores climáticos, como pode ocorrer com outros tipos de geração, como a solar, eólica e hidroelétricas (WNA, 2023b). Com isso, a energia nuclear vem alcançando um papel relevante em países que as mantêm em suas matrizes energéticas de geração.

Conforme será mostrado nos capítulos seguintes, o domínio do ciclo do combustível nuclear é considerado uma tecnologia estratégica, permitindo aos países maior autonomia e segurança energética, além de impulsionar o desenvolvimento industrial e tecnológico.

É importante enfatizar que o Brasil possui uma das maiores reservas de urânio do mundo, estimadas em cerca de 5% das reservas globais, o que representa uma vantagem estratégica significativa para o país no contexto do

ciclo do combustível nuclear. Conforme será detalhado durante a pesquisa, essas reservas estão localizadas principalmente em Caetité (BA) e em Santa Quitéria (CE). A exploração adequada dessas reservas pode posicionar o Brasil como um importante fornecedor de urânio natural no mercado global.

Além das grandes reservas, o Brasil desenvolveu tecnologia para todas as fases do ciclo do combustível nuclear, incluindo a mineração e o beneficiamento do urânio, a conversão do concentrado de urânio em gás hexafluoreto de urânio (UF₆), o enriquecimento isotópico, a fabricação de elementos combustíveis e a gestão do combustível irradiado. Esses desenvolvimentos tecnológicos tiveram a participação de diversas instituições, sendo a MB uma das principais protagonistas na área do ciclo do combustível nuclear, por meio do desenvolvimento do Programa Nuclear da Marinha (PNM), conforme será apresentado nos capítulos seguintes.

Paralelamente, embora não tenha atuação direta na área nuclear, o *Cluster Aeroespacial Brasileiro* (CAB), sediado no Parque de Inovação Tecnológica da São José do Campos, que possui a EMBRAER como empresa âncora, é um caso de sucesso de empresas nacionais que buscaram tecnologia duais para atuação no mercado nacional e internacional na área aeroespacial. Atualmente, a EMBRAER e as empresas vinculadas ao CAB possuem receitas anuais que ultrapassaram os US\$ 6 bilhões, gerando um ecossistema tecnológico que proporciona a inovação e a tecnologia na área aeroespacial.

Com base nessas considerações, esta tese buscou explorar como as melhores práticas e estratégias do ciclo do combustível nuclear francês, bem como os *insights* obtidos do CAB e da EMBRAER, podem ser aplicados para otimizar o ciclo do combustível nuclear brasileiro a atingirem o mercado internacional.

A escolha do ciclo do combustível nuclear francês se deve ao seu papel fundamental na manutenção estratégica da matriz energética francesa, onde aproximadamente 70% da eletricidade é gerada por usinas nucleares e tem grande atuação no mercado internacional na área dos produtos vinculados a este ciclo. Adicionalmente, a França conta com o *Cluster Nuclear Valley*, que integra empresas, instituições de pesquisa e órgãos governamentais, promovendo inovação e competitividade no setor nuclear, sendo considerado

um caso de sucesso para ser abordado nesta tese. Já o *Cluster Aeroespacial Brasileiro*, com destaque para a EMBRAER, foi selecionado por ser um empreendimento nacional, integrando tecnologias avançadas e implementando práticas de gestão inovadoras, atuando tanto no mercado nacional, quanto no mercado internacional.

1.2 RELEVÂNCIA E CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Diversas são as pesquisas acadêmicas que estudaram os aspectos estratégicos do ciclo do combustível nuclear brasileiro para o Programa Nuclear Brasileiro (PNB), o Programa Nuclear da Marinha (PNM) e o Programa de Desenvolvimento de Submarinos (PROSUB). Nesse contexto, essas pesquisas procuraram mostrar a importância estratégica do domínio dessa tecnologia, com grandes arrastos tecnológicos em outras áreas, por meio de *spin-offs*¹.

Na pesquisa de Ruivo (2017) foi evidenciada a relevância do PNM, com foco nos resultados positivos e o uso dual das tecnologias desenvolvidas. A metodologia incluiu descrição, pesquisa e análise de informações, com importantes sugestões para soluções de gargalos do setor nuclear brasileiro. Por sua vez, Canuto (2021) abordou o desenvolvimento da Base Industrial de Defesa (BID) no setor nuclear, especificamente no PNM, explorando as interdependências entre ciência, tecnologia e defesa, além de propor modelos de gestão que possam aprimorar a autonomia do setor nuclear brasileiro. Giron (2021) explorou o alcance social do PNM, analisando os seus aspectos positivos e os impactos na qualidade de vida e no bem-estar social no Brasil. A tese abordou a evolução histórica do setor nuclear brasileiro, a legislação, e as principais aplicações das tecnologias nucleares.

Adicionalmente, Moura (2014) analisou a geopolítica e a estratégia naval, enfatizando a importância de dotar o Brasil de uma força submarina nuclear. O trabalho analisou políticas e estratégias de defesa de diferentes países, comparando-as com a situação brasileira. Silva Neto (2022) investigou modelos de gestão para a indústria brasileira de combustível nuclear, com o

¹ Por *spin-off*, entende-se uma forma de subproduto ou derivação, de natureza intencional ou não, de um projeto ou iniciativa maior (SIMPSON; WEINER, 2010).

objetivo de alcançar autonomia em todas as atividades do ciclo do combustível. A pesquisa destacou as limitações do monopólio estatal e propôs novos modelos de gestão que incluam maior participação da iniciativa privada. Messeder (2021) discutiu a relevância de um submarino convencional com propulsão nuclear para o Estado brasileiro, usando uma abordagem multidimensional que abrange geopolítica, tecnologia e defesa nacional.

Assim como realizado nas pesquisas elencadas anteriormente, que abordaram o PNM, esta tese teve como foco de estudo o ciclo do combustível nuclear, sendo evidenciadas três contribuições principais. A primeira contribuição foi a análise comparativa entre o ciclo do combustível nuclear francês, explorando os benefícios do ecossistema formado pelo *Cluster Nuclear Valley* e o ciclo do combustível nuclear brasileiro. A segunda contribuição é a investigação das práticas e estratégias da EMBRAER e do Cluster Aeroespacial Brasileiro (CAB) e suas possíveis aplicações no setor nuclear brasileiro. Como terceira contribuição, serão sugeridas medidas práticas e estratégias específicas para propor ações que possam proporcionar que o ciclo do combustível nuclear brasileiro atue no mercado internacional, bem como analisou um possível local para se instalar um *cluster* tecnológico na área nuclear, baseando-se nas melhores práticas observadas tanto no modelo francês quanto na experiência do CAB/EMBRAER.

1.3 METODOLOGIA

A metodologia foi estruturada para proporcionar uma investigação comparativa do ciclo do combustível nuclear francês e do brasileiro, focando nas empresas envolvidas e nos *clusters* tecnológicos identificados. Adotando abordagens investigativas e prescritivas, foram realizadas pesquisas documentais, exploratórias de dados, estudos de casos e pesquisas comparativas, onde buscou-se extrair *insights* aplicáveis ao ciclo do combustível nuclear brasileiro, conforme descrito a seguir.

Abordagem investigativa

Foram considerados estudos de caso das empresas francesas do ciclo nuclear e o caso do *Cluster Aeroespacial Brasileiro*, com a EMBRAER como

empresa âncora. A investigação focou na trajetória da EMBRAER e no Cluster Aeroespacial Brasileiro, além de uma pesquisa comparativa do Ciclo do Combustível Nuclear Francês, destacando a atuação do *Cluster Nuclear Valley* e das empresas francesas envolvidas diretamente no ciclo do combustível daquele país.

Os dados financeiros e operacionais foram coletados de relatórios anuais, bases de dados de comércio internacional e documentos governamentais, permitindo a identificação de padrões de investimento e estratégias de incentivo.

Em termos de tratamento exploratório das estatísticas de comércio internacional, destaca-se a base de dados fornecida pelo *United Nations Comtrade Database* (UN Comtrade), repositório de estatísticas oficiais das Nações Unidas, capaz de prover acesso a fluxos comerciais detalhados para mais de 170 países. Todos os procedimentos referentes ao tratamento exploratório dessas séries temporais foram realizados por meio do R, uma linguagem de programação multi-paradigma, voltada à manipulação, análise e visualização de dados.

Abordagem Prescritiva

Com base nos resultados investigativos, foram formuladas proposições prescritivas visando potencializar a atuação do Brasil no cenário internacional para fornecimento de produtos oriundos do ciclo combustível nuclear, via INB, assim como vem ocorrendo com as principais empresas francesas que atuam em áreas correlatas. As propostas consideraram as práticas observadas nos casos do CAB e do ciclo do combustível nuclear francês, focando em fomentar o desenvolvimento do setor nuclear brasileiro através de parcerias estratégicas e incentivos financeiros.

Desta forma, a metodologia prescritiva, por sua vez, envolveu a formulação de recomendações práticas baseadas nas evidências coletadas e nas análises e integrações realizadas, alinhando-se com as práticas de desenvolvimento estratégico e de políticas públicas.

Questões de Investigação

A pesquisa foi orientada pelas seguintes questões:

- Questão investigativa: Quais *insights* identificáveis do *Cluster* Aeroespacial Brasileiro e das empresas francesas envolvidas no ciclo do combustível nuclear daquele País teriam potencial de impacto para o caso brasileiro?
- Questões secundárias da fase investigativa:
 1. Quais são os principais elementos do ciclo do combustível nuclear francês que contribuem para sua eficiência e o seu sucesso?
 2. Quais são as semelhanças e diferenças entre o ciclo do combustível nuclear francês e o brasileiro?
 3. Quais são os principais documentos que orientam o desenvolvimento do setor nuclear brasileiro?
- Questões de pesquisa da fase propositiva:
 1. Que medidas potencializariam a utilização dos *insights* identificados para impulsionar o ciclo do combustível nuclear brasileiro, de modo a permitir a sua atuação no mercado internacional?
 2. Quais medidas e estratégias podem ser adotadas para melhorar o ciclo do combustível nuclear brasileiro, baseando-se nas práticas francesas e no estudo de caso do *Cluster* Aeroespacial Brasileiro?

Nesse sentido, a pesquisa buscou conduzir uma investigação detalhada e aplicável das melhores práticas nos casos francês e aeroespacial brasileiro, adaptando-as para promover o desenvolvimento do ciclo do combustível nuclear no Brasil, de modo a viabilizar uma melhor competitividade e, com isso, permitir que os produtos de suas fases possam ser comercializados no mercado internacional.

1.4 ESTRUTURA DO TEXTO

Visando atender a metodologia proposta, esta pesquisa buscou cobrir desde a fundamentação normativa e contextual até a aplicação prática no nível das proposições estratégicas.

Sendo assim, para além da presente introdução, o texto foi organizado da seguinte forma: no Capítulo 2, são abordados os principais documentos que orientam as diretrizes e objetivos para o desenvolvimento do setor nuclear no Brasil, tais como a Política Nacional de Defesa (PND), a Estratégia Nacional de Defesa (END) e o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050). Além disso, são discutidos os conceitos teóricos de *clusters* tecnológicos, *joint ventures* e marcos legais de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), finalizando com uma introdução sobre as fases do ciclo do combustível nuclear e as perspectivas de demanda global da energia nuclear.

O Capítulo 3 foca no CAB e na empresa âncora EMBRAER. Este capítulo explora a trajetória da EMBRAER, os resultados alcançados e a sinergia criada no Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos (PITSJC). São detalhados os valores financeiros envolvidos, as ações do governo para incentivar o setor e os principais atores do ecossistema do CAB.

No Capítulo 4, o foco é o Ciclo do Combustível Nuclear Francês, com uma análise do funcionamento do *Cluster Nuclear Valley* francês, identificando as empresas envolvidas e os incentivos oferecidos pelo governo. Este capítulo também examina as singularidades das *joint ventures* utilizadas pelas empresas francesas que atuam no ciclo do combustível nuclear.

O Capítulo 5 apresenta uma comparação e confrontação dos *insights* identificados nos capítulos anteriores, aplicando-os ao ciclo do combustível nuclear brasileiro. Este capítulo discute as estratégias e práticas que podem ser implementadas no Brasil, destacando as oportunidades e desafios para o país se tornar um ator significativo no mercado internacional do ciclo do combustível nuclear. São propostas medidas que podem potencializar a criação de *clusters* vinculados ao ciclo do combustível nuclear brasileiro, com foco no fomento para a BID. Para isso, inicialmente, este capítulo aborda o ciclo do combustível nuclear brasileiro e as ações da INB, bem como sintetiza as conclusões do estudo e propõe ações para o desenvolvimento do setor no Brasil.

Finalmente, no capítulo 6, apresentam-se as conclusões desta tese e as sugestões de trabalhos futuros.

2 ASPECTOS TEÓRICOS E DOCUMENTOS CONDICIONANTES

2.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo tem por objetivo abordar os elementos e conceitos que servirão de base contextual para as investigações realizadas nesta tese, permitindo o aprofundamento necessário e suficiente para a realização das análises e obtenção de *insights* dos estudos de casos apresentados.

Inicialmente, serão discutidos os principais documentos condicionantes, como a Política Nacional de Defesa (PND), a Estratégia Nacional de Defesa (END) e o Plano Nacional de Energia 2050 (PNE 2050), que estabelecem diretrizes e objetivos para o PNM. Em seguida, será desenvolvida a base conceitual necessária para a compreensão dos *clusters* tecnológicos, *joint ventures*, os marcos legais da CT&I, finalizando o capítulo com alguns conceitos sobre as fases vinculadas ao ciclo do combustível nuclear e as tendências do mercado de urânio.

2.2 DOCUMENTOS CONDICIONANTES

A PND e a END (MD,2024) são documentos que orientam as diretrizes e objetivos para o desenvolvimento do setor nuclear no Brasil, bem como as ações para estimular a BID. Esses documentos estabelecem metas e ações específicas para garantir a segurança energética, a soberania nacional e o fortalecimento da indústria de defesa.

O domínio da tecnologia nuclear e do ciclo do combustível nuclear são considerados estratégicos para o Brasil, conforme será demonstrado nos diversos documentos condicionantes apresentados a seguir.

Nesse contexto, a PND destaca que:

“para assegurar o atendimento à crescente demanda imposta pelo processo de desenvolvimento, é vital para o País possuir condições de diversificar sua matriz de transporte, sua matriz energética e **obter a autossuficiência das tecnologias necessárias para o pleno aproveitamento do seu potencial nuclear**, hidrelétrico, solar, eólico e fóssil, dentre outros” (MD, 2024, p. 13, grifo nosso).

No contexto da defesa naval, a PND especifica que "o Brasil contará com Força Naval submarina de envergadura, composta de submarinos convencionais de propulsão diesel-elétrica e de propulsão nuclear" (MD, 2024, p. 51).

Além disso, visando a redução da dependência externa e o fortalecimento da capacidade industrial no setor nuclear, a PND estabelece objetivos específicos relacionados ao desenvolvimento do ciclo do combustível nuclear, conforme transcrito abaixo:

"concluir, no que diz respeito ao programa do submarino convencional de propulsão nuclear, a completa nacionalização e o desenvolvimento em escala industrial do ciclo do combustível nuclear, inclusive a conversão e seu enriquecimento, e da tecnologia de construção de reatores nucleares" (MD, 2024, p. 59, grifo nosso).

Como será visto nos próximos capítulos, o PNM prioriza a autossuficiência tecnológica para a exploração dos recursos energéticos nacionais, especificamente os vinculados ao ciclo do combustível nuclear, fazendo com que esteja em sintonia com a PND.

A END complementa a PND com diretrizes específicas para o desenvolvimento da BID. Entre as ações prioritárias, a END destaca: "AED-51 - Promover o desenvolvimento da tecnologia nuclear" (MD, 2024, p. 69), destacando a importância de investimentos contínuos em pesquisa e desenvolvimento no setor nuclear.

Além disso, a END propõe "aprimorar os regimes legal, regulatório e tributário especiais para a Base Industrial de Defesa" (MD, 2024, p. 68), reconhecendo que um ambiente jurídico favorável é essencial para o crescimento sustentável da BID.

Quanto ao desenvolvimento industrial nacional, a END afirma que "o Setor de Defesa deverá estimular, no seu âmbito de atuação, o desenvolvimento das potencialidades industriais do País" (MD, 2024, p. 41).

Em alinhamento com esses documentos, o Plano Nacional de Energia (PNE) 2050 (MME, 2020) também destaca a importância na garantia do fornecimento do combustível nuclear, recomendando ações para o fortalecimento da cadeia produtiva, de modo a produzir todas as fases do ciclo

do combustível nuclear no território nacional, visando a reduzir a dependência externa das usinas term nucleares no Brasil.

Adicionalmente, para garantir a segurança energética, a PND também destaca a necessidade de aprimoramento das tecnologias e capacidades nacionais de forma a qualificar o País a projetar e construir reatores de pesquisa, ainda que sejam desenvolvidas por meio de parcerias com outros países ou com empresas estrangeiras (MD, 2024).

Esses documentos condicionantes evidenciam e consubstanciam a necessidade de ampliação do ciclo do combustível nuclear brasileiro, permitindo que o Brasil se torne um fornecedor internacional dos produtos derivados das fases deste ciclo. Portanto, o PND, END e o PNE 2050 estão alinhados com as metas do PNM, demonstrando a importância estratégica de fortalecer a capacidade industrial e tecnológica do Brasil, visando à autossuficiência no ciclo do combustível nuclear.

2.3 BASE CONCEITUAL

2.3.1 Definição de *Clusters* Tecnológicos

Clusters tecnológicos são aglomerações geográficas de empresas, instituições de pesquisa e outras entidades que colaboram entre si para promover a inovação e a competitividade, criando ecossistemas tecnológicos² específicos, que operam em um determinado campo de atuação. Os *clusters* podem ser classificados de diversas maneiras, conforme suas características, modos de formação e estágio do ciclo de vida.

O *cluster* com Arranjo Produtivo Local (APL) se refere a uma concentração de empresas em uma região específica, geralmente em torno de um setor comum, que compartilham infraestrutura, mão de obra qualificada e conhecimento.

Outra forma de *cluster* é o Arranjo Produtivo Regional (APR), envolvendo várias cidades ou estados. Este tipo de arranjo permite uma maior

² No contexto desta tese, ecossistemas tecnológicos são considerados os ambientes dinâmicos e integrados, onde empresas, universidades e outras entidades colaboram intensamente para fomentar a inovação contínua.

diversificação de competências e recursos, ampliando o impacto econômico e tecnológico na região.

No que se refere a origem dos *clusters*, esses podem ser classificados como *Top-Down* ou *Bottom-Up* (Kerr, 2020). Os *clusters Top-Down* são formados a partir de iniciativas governamentais ou de grandes organizações que definem políticas e investimentos para criar ou fortalecer um *cluster*. Por outro lado, *clusters Bottom-Up* surgem de forma mais orgânica, baseados nas iniciativas e colaborações espontâneas entre empresas e instituições locais, onde geralmente evoluem a partir de redes informais de colaboração que se formalizam ao longo do tempo.

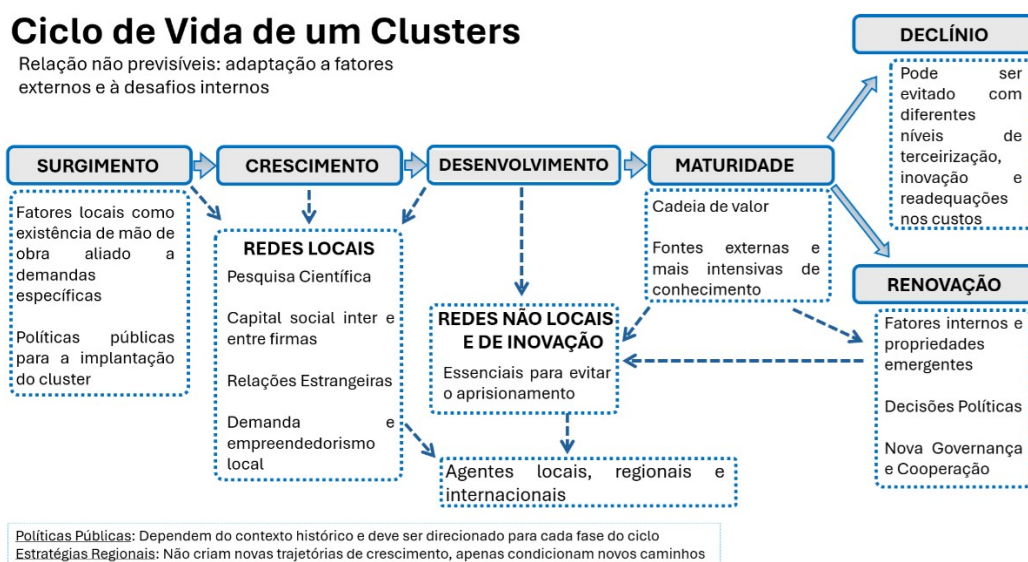
Um aspecto central que pode ser um fator importante na formação e desenvolvimento de *clusters* tecnológicos é a presença de uma ou mais empresas âncoras³ (Kerr, 2020). Essas empresas geralmente possuem posições de destaque em termos de recursos, capacidades tecnológicas, demanda e influência no mercado, atuando como catalisadores para a atração de outras empresas, *startups*, instituições de pesquisa e fornecedores para o *cluster*. De um modo geral, a empresa âncora promove a criação de sinergias, compartilhamento de conhecimento e transferência de tecnologia, impulsionando o crescimento e a competitividade do *cluster* como um todo. Além disso, a empresa âncora frequentemente estabelece parcerias estratégicas e colaborações que beneficiam todos os membros do *cluster*, fortalecendo a cadeia de valor e contribuindo para a inovação contínua e o desenvolvimento econômico da região (Kerr, 2020).

Outro aspecto importante sobre a teoria dos *clusters* está relacionado ao seu ciclo de vida. Diversos atores abordam as fases do ciclo de vida dos *clusters*, existindo variações na literatura do número de fase (Porter, 1998; Bergman, 2008; Menzel, 2010). O trabalho desenvolvido por Schierholt (2022, p. 268 - 270), visou fazer uma revisão sistemática do que estava sendo estudado e publicado sobre os *clusters* tecnológicos até então. Nesse contexto, Schierholt (2022, p. 268 - 270) elaborou uma representação resumida dos

³ Uma empresa âncora é uma organização central que catalisa inovação, crescimento e atração de investimentos na região, além de gerar demandas importantes e fomentar o desenvolvimento do *cluster* (Porter, 1998; Bergman, 2008; Menzel, 2010).

estágios de evolução que são mais abordadas na literatura, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1- Estágios de evolução dos *clusters* tecnológicos



Fonte: Schierholt (2022, p. 270), modificado pelo autor.

A fase de surgimento de um *cluster* é caracterizada pelo início da sua formação, geralmente em torno de uma ou mais empresas âncoras. Durante essa fase, o *cluster* pode ser impulsionado por fatores locais, como a existência de mão de obra especializada e por demandas bem definidas. Nessa etapa, as redes de colaboração são informais e incipientes, e o *cluster* começa a se estabelecer através da convergência de capacidade local e demandas específicas (Bergman, 2008; Schierholt 2022).

Na fase de crescimento, o *cluster* começa a atrair mais empresas e instituições, beneficiando-se de efeitos de rede e economias de escala. O aumento nos investimentos e na infraestrutura se tornam essenciais, sendo a pesquisa científica, capital social e relações estratégicas fatores importantes para consolidação desse estágio (Schierholt 2022)

Durante a fase de desenvolvimento, o *cluster* se solidifica e as redes de colaboração se tornam mais estruturadas. De um modo geral, a capacidade de inovar e a aptidão para a ação coletiva são aprimoradas, proporcionando um ambiente propício para o crescimento sustentável. A importância dos agentes locais, regionais e internacionais e a colaboração entre eles são consideradas como fatores críticos nessa fase (Bergman, 2008; Schierholt 2022).

Na fase de maturidade, Schierholt (2022) identificou que o *cluster* é consolidado como uma rede bem definida de empresas e instituições colaborando intensamente. Nessa fase, a inovação tecnológica é fundamental para manter a competitividade e o *cluster* passa ser reconhecido por sua especialização e competência. A adaptação e a capacidade de renovação são críticas para sustentar o seu crescimento e evitar o declínio.

A fase de declínio ocorre quando o *cluster* enfrenta desafios como a saturação de mercado ou a obsolescência tecnológica. De um modo geral, de acordo com Schierholt (2022, p. 268 - 270), o declínio pode ser evitado com diferentes níveis de terceirização, inovação e redução de custos. Sem a capacidade de adaptação e renovação, o *cluster* pode sofrer uma queda significativa em seu desempenho e competitividade.

A renovação de um *cluster* envolve a revitalização através de novos investimentos, inovação e diversificação. Schierholt (2022, p. 268 - 270) apontou que a renovação depende de fatores internos, como a capacidade de inovação e a qualidade das empresas, novos desenvolvimentos, como tecnologias e mercados emergentes, além de decisões políticas e novas atitudes em relação à governança e cooperação entre as empresas e instituições.

Um outro aspecto identificado no trabalho de Schierholt (2022, p. 268 - 270) foi a importância de políticas públicas direcionadas e estratégias regionais que considerem cada fase do ciclo de vida do *cluster*. Essas políticas devem ser adaptadas às necessidades específicas de cada estágio do ciclo de vida para promover o crescimento sustentável e evitar o seu declínio.

Portanto, a definição e o desenvolvimento de *clusters* tecnológicos são fundamentais para promover a inovação e a competitividade em diversos setores econômicos, criando ecossistemas colaborativos que potencializam a capacidade industrial e tecnológica das regiões. Esses *clusters* facilitam a sinergia entre empresas, instituições de pesquisa e outras entidades, promovendo um ambiente propício ao desenvolvimento de novas tecnologias e soluções inovadoras. Políticas públicas direcionadas e estratégias regionais, conforme identificado por Schierholt (2022), aumentam as chances de sucesso desses *clusters*. Adaptar essas políticas às necessidades específicas de cada estágio do ciclo de vida do cluster é fundamental para garantir o crescimento

sustentável e evitar o seu declínio, assegurando que os benefícios econômicos e tecnológicos sejam plenamente realizados.

Nesse contexto, conforme será abordado nos próximos capítulos, esta tese analisou os *cluster* Nuclear Valley e o Cluster Aeroespacial Brasileiro (CAB), buscando identificar as melhores práticas e estratégias que podem ser aplicadas para fomentar o desenvolvimento de um *cluster* tecnológico na área nuclear no Brasil.

2.3.2 Joint Ventures

Joint ventures são parcerias estratégicas entre duas ou mais empresas que combinam recursos e expertise para alcançar objetivos comuns. Essas empresas geralmente mantêm suas identidades jurídicas separadas, mas podem criar uma nova entidade jurídica para gerir o projeto específico da parceria (Koga, 2013). Essas colaborações permitem o compartilhamento de riscos e investimentos, além de facilitar o acesso a novos mercados e tecnologias.

De acordo com Koga (2013), o uso de *joint ventures* na indústria de defesa brasileira são formas eficazes de alcançar autonomia tecnológica e fortalecer a base industrial nacional. No setor nuclear, as *joint ventures* desempenham papel similar, combinando recursos e conhecimentos de empresas de diferentes países para a realização de projetos de grande escala, com maior eficiência e segurança. Tais colaborações são essenciais para superar barreiras tecnológicas e econômicas, permitindo o desenvolvimento de capacidades que seriam difíceis de serem alcançadas se fossem tratadas de forma isolada.

Internacionalmente, as *joint ventures* são amplamente utilizadas no setor nuclear para combinar recursos e conhecimentos de empresas de diferentes competências ou até mesmo de diferentes países, permitindo a realização de projetos de grande escala com maior eficiência e segurança.

Adicionalmente, as *joint ventures* podem mitigar os riscos associados ao desenvolvimento de novas tecnologias e a expansão em mercados globais. A cooperação internacional através dessas parcerias tem o potencial de possibilitar o acesso a um conjunto diversificado de recursos financeiros,

tecnológicos e humanos, ampliando a capacidade de resposta às demandas complexas e dinâmicas do mercado nuclear global. Assim, as *joint ventures* se apresentam como um modelo estratégico de desenvolvimento, impulsionando a inovação e fortalecendo a competitividade das empresas participantes (Koga, 2013).

No contexto do ciclo do combustível nuclear, *joint ventures* podem ser fundamentais para a transferência de tecnologia e desenvolvimento de novas capacidades produtivas. Como será apresentado nos próximos capítulos desta tese, serão mostrados alguns exemplos de *joint ventures* de empresas francesas que atuam diretamente no ciclo do combustível nuclear daquele país.

2.3.3 Marcos Legais de Ciência, Tecnologia e Inovação e o apoio da FINEP para a inovação tecnológica

O desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil passou por diversas fases. Durante a maior parte do século XX, a ciência e a tecnologia eram áreas prioritárias nas universidades e instituições públicas de pesquisa. No entanto, a partir das últimas décadas do século XX e início do século XXI, ocorreram mudanças importantes com a criação de políticas mais específicas para incentivar a inovação e a interação entre o setor público e privado.

Um marco importante nesse contexto foi a criação da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) em 1967, uma agência pública vinculada ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), destinada a financiar a pesquisa científica, tecnológica e de inovação no Brasil. Desde então, a FINEP vem desempenhando um papel essencial no apoio a projetos de inovação que atendam às demandas da sociedade e do mercado (FINEP, 2024).

A partir de 2004, com a promulgação da Lei de Inovação (Lei Nº 10.973/2004), o Brasil passou a contar com um marco regulatório específico para incentivar a colaboração entre instituições públicas de pesquisa e o setor privado. Em complemento, a Lei do Bem (Lei Nº 11.196/2005) concede incentivos fiscais às empresas que realizam pesquisa e desenvolvimento de inovação tecnológica, estimulando o investimento privado em inovação. A Lei Nº 13.243/2016, que complementa a Lei de Inovação, introduziu novos mecanismos de apoio, como a criação dos Núcleos de Inovação Tecnológica (NITs) em instituições de pesquisa, responsáveis pela gestão da propriedade

intelectual e pela promoção de parcerias estratégicas entre universidades e empresas. A mesma lei prevê a utilização de fundações de apoio, sem fins lucrativos, que atuam como intermediárias na execução de projetos de inovação, facilitando a administração de recursos e a gestão dos projetos de ciência e tecnologia.

De um modo geral, todas essas ações formam um conjunto de leis, regulamentações e aportes financeiros que visam fomentar a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico, estabelecendo mecanismos para dinamizar ecossistemas específicos de inovação. Esses marcos legais fornecem um arcabouço jurídico que garante maior flexibilidade para a atuação de entidades públicas em projetos de inovação, oferecendo segurança jurídica para contratos que envolvem resultados incertos e desconhecidos. Isso é especialmente relevante para as áreas de alta complexidade tecnológica, como o ciclo do combustível nuclear, onde os desafios técnicos são constantes e a inovação é essencial para o sucesso dos projetos. Dessa forma, são ferramentas importantes para auxiliar na criação de ecossistemas de inovação.

A FINEP oferece diversas modalidades de financiamento, incluindo financiamentos reembolsáveis e não reembolsáveis. Os financiamentos reembolsáveis são empréstimos concedidos com condições favoráveis de juros e prazos, destinados a empresas que desenvolvem projetos de inovação. Por outro lado, os financiamentos não reembolsáveis, também conhecidos como subvenções econômicas, são recursos públicos concedidos sem a necessidade de reembolso, utilizados para compartilhar os custos e riscos das atividades inovadoras, especialmente em Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs) e empresas de base tecnológica (FINEP, 2024).

Os marcos legais e o apoio financeiro da FINEP são fundamentais para viabilizar um ecossistema de inovação e desenvolvimento no Brasil. Esse suporte é importante em áreas complexas, como o do ciclo do combustível nuclear, e será abordado nos capítulos seguintes desta tese.

2.3.4 Ciclo do Combustível Nuclear

Visando fazer uma contextualização técnica para o leitor sobre o assunto, nesta seção serão abordadas as fases do ciclo do combustível nuclear fechado e aberto.

Entende-se como ciclo do combustível nuclear por um conjunto de fases compreendidas por processos físico-químicos e fabris para a obtenção do combustível nuclear, formados por elementos combustíveis, que serão empregados em reatores nucleoeletrônicos. Durante essas fases, o minério de urânio (U), que tem concentração natural média de 99,3% de U com massa atômica 238 (U-238) e 0,7% de U com massa atômica de 235 (U-235⁴), é alterado para uma concentração superior a 3% de U-235 (INB, 2024).

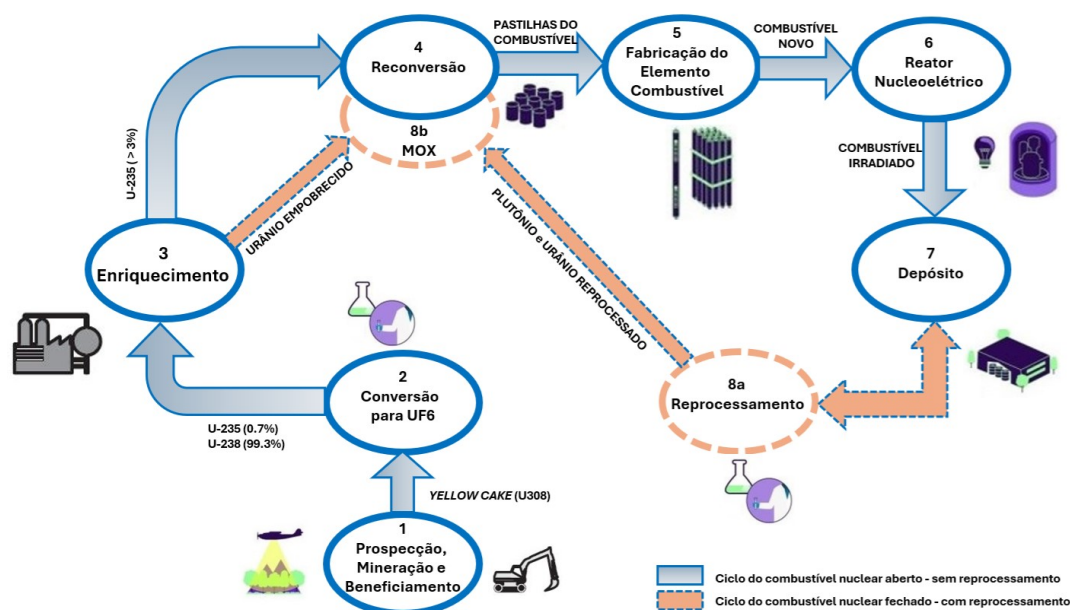
Visando dar um panorama mais amplo desse processo, na figura 2 são apresentadas as principais fases do ciclo do combustível. A primeira fase refere-se à prospecção do minério de urânio, seguida da sua mineração e beneficiamento inicial. O resultado dessa fase é um composto em pó de coloração amarela, razão pela qual é denominado de *Yellow Cake*, U₃O₈ (INB, 2024). Posteriormente, por meio de processos físico-químicos, o *Yellow Cake* é transformado em um gás de hexafluoreto de urânio (UF₆). Nessas duas primeiras fases o urânio ainda está em sua concentração natural, ou seja, 99,3% de U-238 e 0,7% de U-235.

Na terceira fase, o enriquecimento, o gás de UF₆ é novamente processado, de modo a ocorrer a separação do U-235, aumentando assim a sua concentração para valores superiores a 3% (LUZ, 1993). Esse processo é conhecido como enriquecimento isotópico do urânio⁵, sendo considerada uma das fases de maior complexidade tecnológica de todo o ciclo do combustível.

Após a fase do enriquecimento isotópico, estando o UF₆ com concentração de U-235 superior a 3%, é iniciada a fase de reconversão, cuja finalidade é converter, por processos físico-químicos, o UF₆ em matéria sólida de dióxido de urânio (UO₂) (INB, 2024). Durante essa fase, são realizadas as etapas de sinterização das pastilhas de urânio, que serão montadas nos elementos combustíveis.

⁴ U-235 – Isótopo de urânio com massa atômica 235, sendo este físsil, o que possibilita a geração de energia térmica a partir da fissura de seu núcleo. Para que haja uma reação em cadeia sustentável, é necessário aumentar a concentração de U-235 para valores superiores a 3%, dependendo do projeto neutrônico do reator nucleoeletrônico.

⁵ Vale destacar que existem as seguintes formas de enriquecimento isotópico do urânio: (a) Centrifugação, (b) Difusão Gasosa, (c) Colunas Térmicas e (d) Métodos Eletromagnéticos.

Figura 2 - Fases do ciclo do combustível nuclear⁶

(Nota: imagem alterada pelo autor)

Esses elementos combustíveis serão utilizados nos Reatores Nucleoelétricos, onde será produzida uma reação em cadeia de fissão nuclear, de maneira controlada, que por sua vez fornecem energia térmica para geração de vapor superaquecido, que atuarão em geradores elétricos para produção de energia elétrica.

Para o caso de um ciclo do combustível nuclear fechado, existe a fase do reprocessamento, fase 8a e 8b da figura 2, na qual o combustível irradiado e, portanto, sem capacidade de geração de energia térmica, é removido do reator. Esses materiais nucleares removidos, principalmente o plutônio e o urânio residuais, passarão por reprocessamento e serão reutilizados. O plutônio e o urânio recuperados no processo de reprocessamento podem ser usados para fabricar novos combustíveis, como o MOX (*Mixed Oxide Fuel* - Combustível de Mistura de Óxidos), que serão usados em reatores nucleares convencionais, (WNA, 2021). Vale destacar que a fase do reprocessamento é muito cara, sendo justificada apenas quando existe uma carência de reservas de urânio no território desses países ou por questões estratégicas (WNA, 2023b, p. 103 a 109).

O ciclo do combustível nuclear francês é considerado um ciclo fechado, visto que a fase do reprocessamento é realizada, fazendo com que haja uma realimentação do combustível de urânio irradiado. Outros países também realizam o

⁶ Fonte: *World Nuclear Association (online)*, Ano 2021 <<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx>> (acesso em: 20 abr. 2024).

reprocessamento do combustível irradiado, como é o caso do Reino Unido, Japão, Rússia, Índia e China (WNA, 2023b, p. 107).

No que se refere ao ciclo do combustível nuclear sem reprocessamento, os materiais nucleares oriundos do combustível irradiado não serão reutilizados e, portanto, serão armazenados em depósitos específicos. Esse é o caso do ciclo do combustível nuclear do Brasil (INB, 2024).

2.4 PERSPECTIVAS ATUAIS PARA A ENERGIA NUCLEAR

Conforme apresentado no capítulo 1, a energia nuclear tem se tornado uma importante alternativa nas matrizes energéticas de diversos países. Esse crescimento reflete o aumento dos investimentos e da confiança nessa fonte de energia, devido à sua capacidade de fornecer uma geração de eletricidade estável e de baixa emissão de carbono.

De acordo com o último relatório emitido pela *World Nuclear Association* (WNA, 2023b), no final de 2022 existiam 437 reatores nucleares em operação, com 383.958 MWe de capacidade instalada de geração.

A tabela 1 apresenta os principais países que mantêm reatores nucleares em sua matriz energética.

Tabela 1 - Países que mais produzem energia nuclear⁷

País	Reatores em Operação	
	Nº de Reatores	Capacidade instalada em MWe
USA	92	94.718
França	56	61.370
China	54	52.150
Japão	33	31.679
Rússia	37	27.272
Coréia do Sul	25	24.431
Canadá	19	13.624
Ucrânia	15	13.107

Fonte: Informações compiladas pelo autor do *World Nuclear Association* (WNA, 2023b)

Como pode ser observado na tabela 1, atualmente, os USA é o país que possui a maior quantidade de reatores em operação e capacidade instalada, seguido da França. A França é considerada o país que possui a maior

⁷ O Brasil possui duas usinas nucleares, Angra 1 e 2, que produzem por cerca de 2% (1.8 MWe) da geração de energia elétrica no país.

dependência de energia nuclear, em termos relativos, se comparada com os demais países no mundo, visto que cerca de 70% de sua energia é oriunda da energia nuclear (WNA, 2023b).

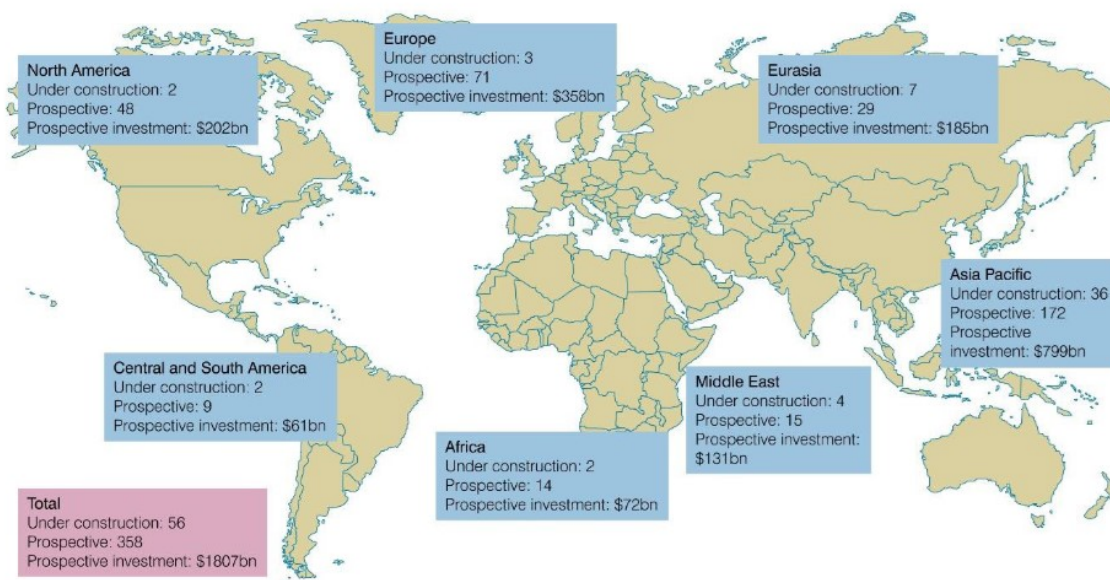
É importante salientar que todos os países que operam reatores nucleares necessitam de urânio para serem utilizados nos elementos combustíveis. Entretanto, as reservas naturais de urânio são limitadas e poucos países possuem essa *commodity* em seus territórios. As principais reservas de urânio estão localizadas na Austrália (28% - 1.684.000 toneladas), Cazaquistão (13% - 815.000 toneladas), Canadá (10% - 588.000 toneladas), Rússia (8% - 480.000), Namíbia (8% - 470.000 toneladas), África do Sul (5% - 320.000 toneladas), Níger (5% - 311.000 toneladas), Brasil (5% - 277.000 toneladas), China (4% - 223.000 toneladas), Mongólia (2% - 145.000 toneladas), Uzbequistão (2% - 131.000 toneladas), Ucrânia (2% - 107.000 toneladas), Botsuana (1% - 87.000 toneladas), USA (1% - 59.000 toneladas), outros (7% - 377.000) (WNA, 2024a).

Além das reservas naturais, o domínio do ciclo do combustível nuclear, conforme será mostrado nos capítulos seguintes, é considerada uma tecnologia estratégica. Os produtos de cada fase do ciclo do combustível nuclear podem atingir valores financeiros significativos no mercado internacional. Vale destacar que, dos países que possuem as maiores reservas de urânio, apenas o Brasil, Estados Unidos, Rússia e China possuem tecnologia para realizar todas as etapas do ciclo do combustível nuclear. A França e o Japão, por exemplo, têm altos investimentos e alto *know-how* em tecnologia nuclear, dominando todas as fases do ciclo do combustível nuclear e das etapas subsequentes, porém, não possuem reservas de urânio natural em seus territórios, fazendo com que dependam de fornecimentos externos.

Nesse cenário global, a figura 3 mostra o crescente interesse internacional nas tecnologias nucleares, destacando que atualmente existem 56 reatores nucleares em construção ao redor do mundo, com a previsão de construção de mais 358 reatores, totalizando investimentos que podem superar os US\$ 1.8 trilhões (WNA, 2023b). Na Ásia, países como a China e a Índia estão intensificando seus programas nucleares. Na Europa, onde existe a previsão de instalação de 71 novos reatores, os investimentos podem atingir a ordem de US\$ 358 bilhões. A mesma tendência também é observada na

América do Norte, com previsão de construção de mais 48 reatores nucleares e investimentos superiores a US\$ 200 bilhões.

Figura 3 - Previsão de construções e investimentos de reatores nucleares até 2040

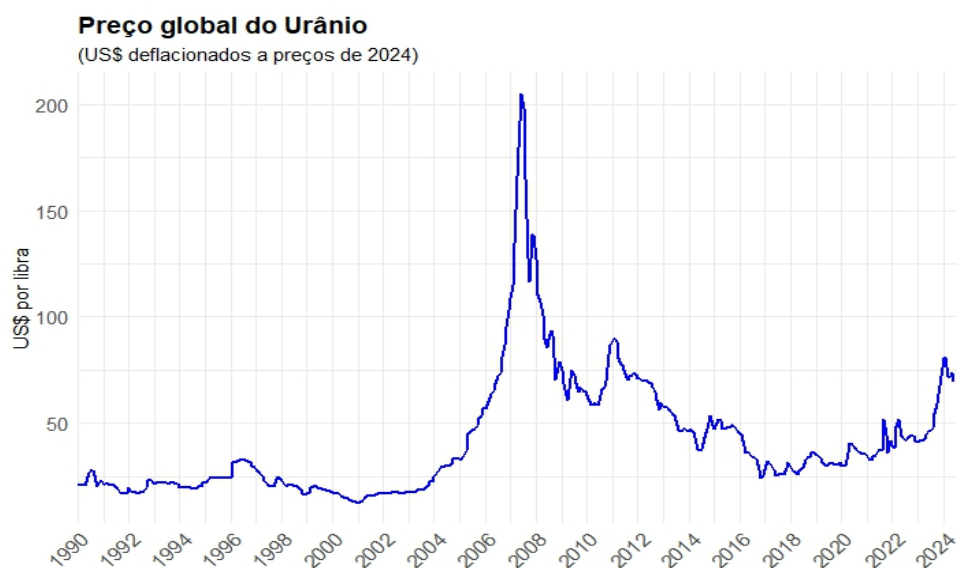


Fonte: (WNA, 2023b, p. 18)

Em função da atual conjuntura geopolítica mundial, estabelecida pelo conflito entre a Rússia e a Ucrânia, bem como as instabilidades políticas no Níger, países esses que possuem grandes reservas, o preço do urânio tem sofrido aumentos significativos nos últimos três anos (WNA, 2023a; 2023b). As tensões geopolíticas não apenas afetam diretamente os custos de produção e transporte de urânio, mas também incentivam os países a buscarem maior autossuficiência energética, impulsionando ainda mais os investimentos em energia nuclear como uma solução estratégica para garantir a segurança de suas matrizes energéticas.

A figura 4 apresenta o preço do *yellow-cake* (U₃O₈) no mercado internacional desde 1990 até junho de 2024 que, conforme apresentado na seção anterior, é a primeira fase do ciclo do combustível nuclear. Como pode ser observado, os valores tiveram um aumento significativo nos últimos dois anos, em função das novas conjunturas geopolíticas.

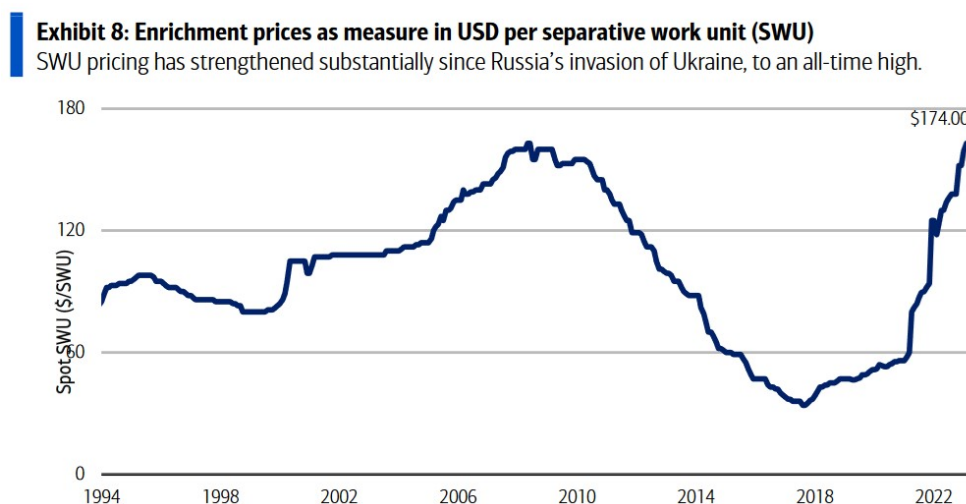
Figura 4 – Preço internacional do *yellow-cake* (U3O8) dos últimos anos



Fonte: Elaborado pelo autor a partir do banco de dados do FRED⁸

O mesmo aumento foi observado no preço do urânio enriquecido, que é considerada a fase de maior complexidade tecnológica para ser obtida. A figura 5 apresenta essa variação, sendo que os valores atualmente praticados no mercado internacional são os mais altos registrados nos últimos 30 anos.

Figura 5 – Preço internacional urânio enriquecido



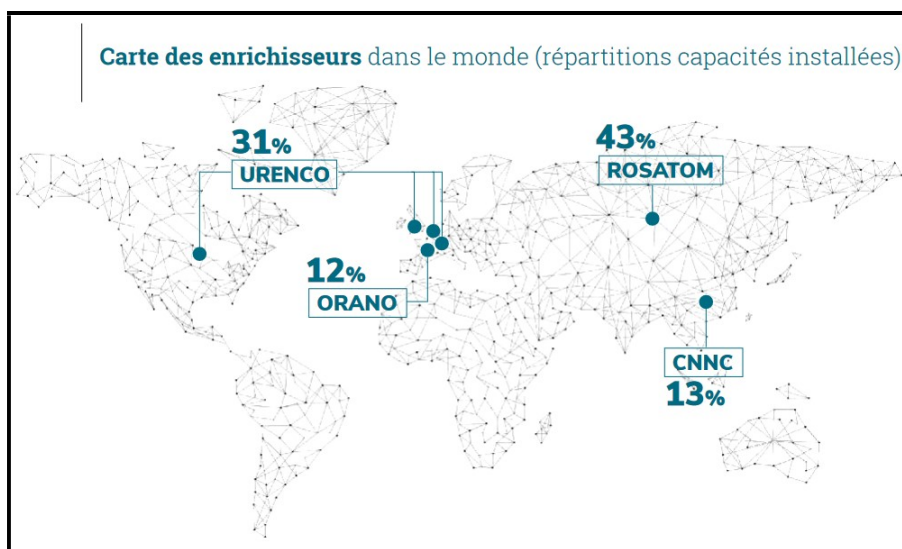
Fonte: (ROFA, 2024, p. 5)

⁸ Federal Reserve Economic Data (FRED), Federal Reserve Bank of St. Louis. Série de dados: *Global Price of Uranium*, série ID: PURANUSDM, extraída de forma automatizada através do pacote *fredr* do RStudio. A série também se encontra disponível em: <https://fred.stlouisfed.org/series/PURANUSDM> (acesso em: 29 de julho de 2024).

O mercado de mineração e beneficiamento de urânio é liderado por países como Cazaquistão, Canadá e Austrália, que são os maiores produtores globais (WNA, 2024b). No setor de conversão e enriquecimento, destacam-se a Rússia, a China e a França, com capacidades tecnológicas avançadas e instalações de grande porte (WNA, 2024c).

A título de exemplo, ainda referente ao mercado internacional do urânio enriquecido, de acordo com o último relatório emitido pela empresa francesa ORANO (ORANO, 2023), os valores financeiros estimados anuais no mercado internacional atingem cerca de €10 bilhões, onde apenas quatro empresas possuem instalações industriais adequadas para atender à demanda internacional do urânio enriquecido, conforme apresentado na figura 6, a saber: ORANO (francesa), CNNC (chinesa), ROSATOM (russa) e URENCO (inglesa, alemã e holandesa).

Figura 6 – Atuação das principais empresas que fornecem urânio enriquecido para o mercado internacional.



Fonte: ORANO, 2023, p. 15

Todos esses fatores demonstram que existe um mercado internacional em franca ascendência para os reatores nucleares e, conseqüentemente, para os produtos do ciclo do combustível nuclear, com expressivos valores financeiros envolvidos. Além disso, devido à atual situação geopolítica global, os preços do urânio e dos produtos das fases do ciclo do combustível têm aumentado significativamente nos últimos dois anos, o que torna esse mercado ainda mais atrativo do ponto de vista de receitas.

Desta forma, este capítulo procurou abordar os principais documentos e conceitos teóricos que fundamentam a análise da tese, além de contextualizar o panorama atual das demandas para a energia nuclear e, conseqüentemente, para os produtos do ciclo do combustível nuclear. No próximo capítulo, será explorado o *Cluster* Aeroespacial Brasileiro (CAB), com ênfase na trajetória da sua empresa âncora EMBRAER, seus resultados e a sinergia criada no Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos (PITSJC). Este estudo permitirá identificar práticas e estratégias de sucesso que podem ser aplicadas para o caso do ciclo do combustível nuclear brasileiro.

3 O CLUSTER AEROESPACIAL BRASILEIRO

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, serão abordadas as atividades do CAB, que é o responsável por manter um ecossistema de empresas vinculadas ao setor aeronáutico brasileiro. Considerado um caso histórico de sucesso, o CAB tem sua sede localizada na cidade de São José do Campos (SP), onde conta com mais 130 empresas oriundas de diversos estados, sendo do estado de São Paulo a maioria delas (PARQUE, 2024) fomentadas em torno de Centro Técnico Aeroespacial (CTA) e da EMBRAER.

Vale destacar que o CTA, a EMBRAER e o CAB, que faz parte do Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos (PITSJC)⁹, servem como um *hub* de conexão de empresas, universidades e institutos de pesquisa, criando uma sinergia de tecnologia, inovação e empreendedorismo para a área aeroespacial brasileira, (FAPESP, 2023).

Nas próximas seções, serão apresentados os resultados das investigações desta tese no que se refere ao CAB, identificando os principais atores desse ecossistema, as ações do governo para incentivar o setor aeroespacial brasileiro, bem como os principais resultados alcançados até o momento.

Com isso, ao final deste capítulo, espera-se que sejam evidenciados os principais fatores que motivaram a criação do CAB, os valores financeiros envolvidos nos últimos anos, que garantem a manutenibilidade e a sustentabilidade econômica das empresas desse empreendimento, além dos reflexos diretos no fortalecimento da base industrial, vinculada ao setor aeroespacial brasileiro.

Uma das empresas que impulsionou e influenciou na criação deste *cluster* foi a EMBRAER. Por essa razão, antes de apresentar os resultados atuais do CAB, é importante fazer uma contextualização da história da EMBRAER e os seus resultados de gestão dos últimos anos, visto que a referida empresa tem um papel fundamental para fomentar as empresas da

⁹ www.pitsjc.org.br (acesso em 11 de maio de 2024).

sua cadeia de valor, parte delas vinculadas ao CAB, uma vez que é considerada a empresa âncora, conforme será descrito na próxima seção.

3.2 BREVE HISTÓRICO DA EMBRAER

A EMBRAER foi fundada em 1969, por uma ação governamental, que teve como principal objetivo fomentar a tecnologia e a indústria aeroespacial nacional, com consequente aumento da capacidade industrial nesse setor, especialmente para projetos voltados à área de defesa (SILVA, 1999).

Vale destacar o papel fundamental da Força Aérea Brasileira (FAB) nesse contexto, por meio de suas Organizações Militares (OM), como o Centro Técnico Aeroespacial, atualmente Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial (DCTA), e suas OM subordinadas, onde foram iniciados os projetos dos primeiros aviões que seriam, posteriormente, construídos pela EMBRAER. Além disso, o Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), fundado em 1950, foi o suporte laboratorial dos primeiros projetos e, principalmente, formador de mão de obra qualificada para a equipe técnica da EMBRAER.

A concepção de criação do CTA foi alicerçada no trinômio do desenvolvimento: Ensino com o ITA, Pesquisa com o Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento (IPD) e Produção com o Instituto de Fomento e Coordenação Industrial (IFI), criado em 1971 para fomento e coordenação industrial de produtos e sistemas aeronáuticos para permitir a integração do *cluster* embrionário formado pela cadeia de valor da EMBRAER e de seus fornecedores com o Ensino e a Pesquisa.

Atualmente, os laboratórios do DCTA evoluíram para estruturas mais complexas, em função da demanda e dos novos conhecimentos adquiridos ao longo dos anos, existindo hoje três institutos: Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE); Instituto de Estudos Avançados (IEAV) e o IFI. Estes institutos possuem estreita colaboração com a EMBRAER e o *cluster* aeroespacial, uma vez que atuam no apoio e suporte técnico de testes em voo, desenvolvimento de novos materiais e tecnologias de propulsão; em projetos de pesquisa avançada e emergentes que podem ser aplicadas no desenvolvimento de novas aeronaves e sistemas de aviação; apoio na certificação de aeronaves e de produtos,

garantindo o cumprimento de normas e regulamentações técnicas nacionais e internacionais; dentre outras atividades.

Sendo assim, a FAB e suas OM de tecnologia e geração de mão-de-obra especializadas pavimentaram e criaram as bases necessárias para que a EMBRAER pudesse exercer suas atividades com maior competitividade nos mercados nacionais e internacionais. Com isso, a EMBRAER foi capaz de manter um diferencial de mercado com projetos focados em segmentos de aviação de menor porte, onde os grandes fabricantes internacionais não atuavam, o que lhe garantiu uma baixa competitividade neste nicho de mercado (SILVA, 1999). O primeiro sucesso da empresa foi o avião de transporte civil e militar, denominado Bandeirante EMB 110, com boa aceitação tanto no mercado interno quanto no internacional, possibilitando, inclusive, a EMBRAER entrar no competitivo mercado americano já no final dos anos 1970 (TOFFANO; MARQUES; MARINHO, 2021). Ao longo do tempo, as empresas americanas substituíram o Bandeirante, substituindo sucessivamente pelas aeronaves Brasília, ERJ-145 e E-175 E1, o que consolidou a liderança da empresa no segmento de aviação regional.

De acordo com Lima (2005), Toffano, Marques e Marinho (2021), durante os primeiros anos de sua criação a empresa estabeleceu importantes acordos de cooperação técnica e parceria estratégica com empresas concorrentes estrangeiras já consolidadas, no sentido de viabilizar a coprodução de itens previamente licenciados. Dois projetos estratégicos em específico, desenvolvidos mediante o estabelecimento de parceria entre Brasil e Itália, se mostraram fundamentais nesse processo: a produção das aeronaves militares Xavante e AMX. A experiência adquirida através desses acordos permitiu à EMBRAER desenvolver e produzir o primeiro jato nacional, adquirir maior nível de independência tecnológica e alcançar capacidade produtiva em larga escala, capacitando-a em novas linhas de produção voltadas para o mercado externo (TOFFANO; MARQUES; MARINHO, 2021). Essa estratégia permitiu que a EMBRAER entrasse no mercado aeronáutico com menor dependência tecnológica, uma vez que a coprodução possibilitou que parte desta tecnologia fosse rapidamente assimilada pela sua qualificada equipe de técnicos e engenheiros.

Um outro sucesso foi o avião de treinamento Tucano que, na década de 1980, foi comercializado para diversas forças aéreas, com destaque para o Reino Unido e a França. A comercialização dessa primeira versão do Tucano junto a importantes forças aéreas permitiu à EMBRAER projetar e consolidar ainda mais sua presença no mercado internacional.

Entretanto, na década de 1990, a EMBRAER enfrentou grandes desafios financeiros, levando o governo brasileiro realizar o seu processo de privatização em 1994. Tal fato foi decorrente de uma mudança política do papel do Estado, em função das dificuldades de gestão e de novos investimentos para as empresas estatais. De acordo com Lima (2005), as principais dificuldades financeiras enfrentadas pela Embraer naquela ocasião foram: (a) restrições do mercado consumidor do Brasil; (b) dependência de demandas governamentais; (c) baixo desenvolvimento de CT&I agregados; (d) alta concorrência da indústria aeronáutica dos países desenvolvidos; (e) fragilidade da indústria nacional e da BID; e (f) baixa capacidade financeira da empresa. A esses fatores, somam-se, ainda, as intensas alterações conjunturais de natureza geopolítica motivadas pelo fim da Guerra Fria, acarretando no acentuado declínio observado na demanda internacional por produtos militares (inclusive no âmbito das aeronaves) e a crescente competição e concentração verificada neste mercado (MARQUES, 2024).

Nesse contexto, a partir da privatização e das lições apreendidas, a EMBRAER passou a conduzir um esforço de reestruturação, reorientando seu foco de atuação para o mercado civil, especialmente em nichos não explorados pelos grandes concorrentes internacionais, a exemplo da aviação regional e executiva (DALLA COSTA, SOUZA-SANTOS, 2010; MARQUES, 2024). Com isso, a empresa pôde criar um suporte financeiro para garantir um bom fluxo de caixa, de modo a investir em seu parque industrial, treinamento de seus funcionários e pesquisas em CT&I.

Após mais de 55 anos de sua criação, hoje a EMBRAER é uma empresa consagrada no mercado, com receitas expressivas para o cenário nacional. Em seu relatório anual de 2023, a EMBRAER apresentou um aumento em suas receitas de 11,4%, em relação ao ano anterior (EMBRAER, 2024a). A tabela 2

apresenta um resumo dos principais balanços financeiros nos últimos 4 anos, sendo elas: receitas, *backlog*¹⁰, fluxo de caixa e dívida líquida.

Tabela 2 - Principais valores financeiros da EMBRAER nos últimos 4 anos

Ano	Receita em bilhões de dólares	Receitas futuras em bilhões de dólares (Backlog)	Fluxo líquido de caixa em milhões de dólares	Dívida Líquida em bilhões de dólares
2020	US\$ 4,20	US\$ 14,40	US\$ -2,10	US\$ 6,51
2021	US\$ 4,23	US\$ 17,00	não informado	US\$ 1,45
2022	US\$ 4,25	US\$ 17,50	não informado	US\$ 0,68
2023	US\$ 5,30	US\$ 18,70	US\$ 318,00	US\$ 0,53

Fonte: Relatórios dos balanços financeiros de 2020 a 2023, (EMBRAER, 2024a).

Nota: Dados compilados pelo autor.

No que se refere as suas relações comerciais internacionais, cerca de US\$ 4,75 bilhões de suas receitas de 2023 – ou seja, mais de 85% do total – foram provenientes de países localizados na Europa, Ásia, América Latina e América do Norte. A tabela 3 apresenta a compilação desses dados, onde os resultados demonstram a sua consolidação no mercado internacional.

Tabela 3 - Distribuição das receitas de 2023 da EMBRAER, de acordo com as regiões mundiais

Ano	Receita em bilhões de dólares	Representatividade
América do Norte	US\$ 3,30	62%
Europa	US\$ 1,15	21%
América Latina	US\$ 0,10	2%
Ásia Pacífico	US\$ 0,20	4%
Brasil	US\$ 0,45	9%
Outros	US\$ 0,10	2%

Fonte: Relatórios do balanço financeiro 2023, (EMBRAER, 2024a).

Nota: Dados compilados pelo autor.

Atualmente, a EMBRAER possui mais de 19.000 funcionários distribuídos em diversas fábricas no Brasil e no exterior. A empresa possui 57% de suas ações listadas na B3, a bolsa de valores do Brasil, e 43% na Bolsa de Valores de Nova Iorque (NYSE). Dentro de sua estrutura acionária, a *Brandes Investment Partners* detém 15,0% das ações, enquanto a BNDESPAR, uma subsidiária do BNDES, controla 5,4%. A maioria das ações, cerca de 79,7%, é

¹⁰ *Backlog* - Previsão de receitas futuras, por meio de contratos já celebrados.

mantida por outros acionistas, constituindo uma base acionária amplamente diversificada, (EMBRAER, 2024b). O governo brasileiro possui ações *golden share*¹¹, o que lhe permite manter um controle estratégico sob a empresa.

Com isso, após esse resumo que contextualizou a EMBRAER no cenário aeronáutico brasileiro, na próxima seção serão apresentados os resultados das pesquisas realizadas para o CAB, levando-se em consideração os relatórios anuais apresentados em sua página na *internet*¹² e as informações disponibilizadas no banco de dados de comércio internacional da Organização das Nações Unidas (ONU), por meio da especificação de itens aeronáuticos¹³.

3.3 CLUSTER AEROESPACIAL BRASILEIRO

O CAB foi criado em 2006, por uma iniciativa da Prefeitura Municipal de São José dos Campos (SP) que, juntamente com o SEBRAE, CECOMPI, CIESP e FIESP¹⁴, buscaram incentivar o desenvolvimento local para aumentar a capacidade produtiva de empresas com atuação ou vocação técnica e produtiva para suprir as demandas da EMBRAER, que foi a empresa âncora deste empreendimento. Entre essas ações iniciais, se destacam as parcerias com a Agência Brasileira de Promoção de Exportações e Investimentos (Apex-Brasil) e a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) (NUNES, 2021).

No contexto histórico de sua criação, em 2005, foram realizadas pesquisas sobre fornecedores locais do setor aeroespacial (CLUSTER, 2024), sendo inserido na agenda do Programa de Arranjos Produtivos Locais dos governos estadual e federal (BRASIL, 2017). Em 2006, foi formado o Comitê

¹¹ *Golden Share*: é uma categoria de ação que permite ao governo intervir em certas decisões para proteger interesses estratégicos nacionais, como vetar a venda da empresa, mudanças significativas na estrutura corporativa ou em políticas que possam afetar a soberania do país.

¹² <https://pitsjc.org.br/transparencia> (acesso em 16 de mai. 2024).

¹³ O banco de dados da ONU, denominado *United Nations Commodity Trade Statistic Database (UN Comtrade)*, apresenta uma grande variedade de dados comerciais dos países, no nível de importações e exportações. Para o caso específico das exportações de peças aeronáuticas, os códigos utilizados foram “HS-8803” e “HS-8807”, sendo “HS” a sigla referente a Harmonized System, sistema administrado pela Organização Mundial das Alfândegas (WCO, em inglês), baseado em um método numérico padronizado de classificação de produtos comercializados (ONU, 2024).

¹⁴ SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio às Micros e Pequenas Empresas; CECOMPI – Centro para Competitividade e Inovação; CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo; FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo.

Gestor e criado o *cluster*. Em 2008, o *cluster* foi consolidado e reconhecido em várias esferas governamentais, firmando um convênio com a Apex-Brasil. Em 2010, houve reestruturação da governança, seguido pelo primeiro convênio com a ABDI em 2011. Em 2015, foram implementados projetos mobilizadores, que são iniciativas para impulsionar a inovação e competitividade do setor e formação de consórcios, por meio de parcerias entre empresas para desenvolver projetos conjuntos. Em 2020, o *cluster* teve a sua certificação renovada pelo Governo do Estado de São Paulo, garantindo a conformidade com padrões legais e possibilitando a continuidade de parcerias estratégicas e acesso a novos financiamentos, consolidando ainda mais seu papel no desenvolvimento do setor aeroespacial brasileiro.

O CAB fica nas instalações do Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos (PITSJC), que também foi criado em 2006, sendo considerado um dos maiores complexos de inovação do Brasil, oferecendo uma infraestrutura adequada e disponibilizando programas de apoio que visam capacitar empresas e *startups* em várias áreas tecnológicas. O PITSJC oferece uma diversidade de programas para apoiar empresas em diversas áreas, como por exemplo, os seguintes programas: Internacionalização, Gestão de Projetos e Negócios, Colmeia, Cidades Inteligentes, Galerias do Empreendedor, Empreenda On, Centros de Desenvolvidimentos Tecnológicos e *startups* São José. Todos esses programas visam promover a inovação, a capacitação e o crescimento tecnológico, por meio de infraestrutura, consultoria, capacitação, mentorias e oportunidades de *networking* e, assim, capacitando as empresas sob o ponto de vista de CT&I e, consequentemente, aumentando as suas competitividades no mercado global, (PARQUE, 2024). Atualmente, o PITSJC tem uma área de aproximadamente 188 mil metros quadrados, contando com edificação de prédios para abrigar empresas, laboratórios e universidades.

Dessa forma, a criação do CAB nas instalações do PITSJC foi uma ação estratégica que visou fortalecer a cadeia produtiva do setor aeronáutico no Brasil, aproveitando toda essa infraestrutura. Desde então, o *cluster* vem se destacando em projetos de inovação, criando um ecossistema favorável à colaboração entre empresas, universidades, instituições de pesquisa e

governo, utilizando-se do conceito do Tríplice Hélice¹⁵. Através de iniciativas como rodadas de negócios, recebimento de *workshops* e missões comerciais internacionais, e acesso a recursos financeiros, as empresas vinculadas ao CAB vêm se fortalecendo e, com isso, aumentando as suas capacidades produtivas em nível nacional e internacional (PARQUE, 2023).

Conforme apresentado no capítulo 2, o CAB é classificado como sendo *Top-down*, visto que foi criado por uma iniciativa do governo municipal e com incentivos dos governos estadual e federal. Embora algumas empresas vinculadas ao CAB estejam localizadas em outros estados do Brasil, as atuações das suas atividades são vinculadas à região de São José dos Campos e, portanto, o *cluster* é classificado como um Arranjo Produtivo Local (APL), com foco no setor aeronáutico.

No que se refere aos suportes financeiros, o governo brasileiro oferece diversos tipos de financiamentos. De acordo com o relatório de atividades do PITSJC, em 2022, último relatório disponibilizado na internet (PARQUE, 2022), ocorreram investimentos e apoio financeiro de diversas agências governamentais, como a Apex-Brasil, FINEP e BNDES. Tais apoios e financiamentos foram principalmente direcionados para a promoção das exportações, desenvolvimento de projetos de CT&I, capacitação e qualificação de empresas, participação em feiras e missões comerciais internacionais, além de ações de melhoria contínua da gestão empresarial. Esses financiamentos incluem convênios específicos para aumentar a competitividade das empresas no mercado global, fornecendo recursos essenciais para a expansão de operações e acesso a novos mercados.

Em que pese esses investimentos sejam realizados no PITSJC, as empresas do CAB acabam usufruindo desses recursos, visto que estão inseridas neste ecossistema de CT&I. Dessa forma, a sinergia entre o PITSJC e o CAB estabelece um ambiente favorável para o fortalecimento das empresas envolvidas nesse APL e, principalmente, fortalece a indústria aeroespacial brasileira.

¹⁵ Hélice Tríplice – Termo muito utilizado quando existe uma interação com universidade, governo e empresa privada para a solução tecnológica de interesse comum entre esses atores.

Durante esse período de existência do PITSJC e do CAB, diversos são os exemplos desses suportes financeiros para o fomento das empresas vinculadas ao setor industrial aeroespacial. Em 2014, em um momento crítico para as empresas menores da área aeroespacial se consolidarem no mercado, o governo criou o Fundo de Investimento em Participações Aeroespacial, sendo o primeiro da América Latina para esse setor, com foco exclusivo em empresas inovadoras de pequeno e médio porte, (FAPESP, 2014). Esse fundo contou com investimentos estaduais (Desenvolve-SP¹⁶), federais (FINEP e BNDES) e da própria EMBRAER, e foram fundamentais para o fortalecimento dessas empresas vinculadas ao PITSJC/CAB.

A FINEP e o BNDES também são entidades governamentais que têm uma participação muito efetiva no fomento das empresas do PITSJC/CAB, por meio de editais de projetos para a área aeroespacial. Nos últimos anos, diversos foram os editais e/ou chamadas públicas realizados. Em 2022, foi gerado o edital para o apoio ao desenvolvimento de veículos de pequeno porte para lançamento de nano e/ou microssatélites, realizado pela FINEP e a Agência Espacial Brasileira (AEB) (FINEP, 2022). Em 2023, foram assinados contratos na ordem de R\$ 360 milhões com a FINEP e quatro empresas que atuam no setor aeroespacial brasileiro, sendo a EMBRAER uma delas, cujo objetivo foi o desenvolvimento de aeronaves e de tecnologias baseadas em propulsão mais sustentável ambientalmente, como a elétrica; navegação não-tripulada e mais autônoma; e satélites de pequeno porte de observação de alta resolução, (FINEP, 2023). Entre 2023 e 2027, a EMBRAER destinará cerca de R\$ 650 milhões em projetos de desenvolvimento de novos produtos, processos e tecnologias, onde parte desse valor será financiado pelo BNDES, buscando fortalecer a cadeia de fornecedores nacionais, (AGÊNCIA, 2024). Esses foram alguns exemplos de apoio financeiro que o governo brasileiro vem fomentando nos últimos anos no PITSJC/CAB.

Além disso, as empresas que estão instaladas no município de São José do Campos, como exemplo as empresas do PITSJC/CAB, têm uma redução do Imposto Sobre Serviços (ISS) pela prefeitura municipal (SJC, 2022) e, as

¹⁶ Agência de fomento do governo do Estado de São Paulo, ligada à Secretaria de Desenvolvimento Econômico. Site oficial: www.desenvolvesp.com.br (acesso em: 18 de mai 2024)

empresas que conseguem atingir os critérios técnicos de produção aeronáutica e/ou aeroespacial, de acordo com o Convênio ICMS nº 75/91 (IFI, 2024), conseguem uma redução do Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) para 4%.

Adicionalmente, a EMBRAER, como empresa âncora do CAB, é uma das principais interlocutora junto ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), para buscar mais investimentos financeiros ou incentivos legais e fiscais, com reflexo nas empresas que constituem o ecossistema formado pelo PITSJC/CAB (MCTI, 2023).

Até o momento, desde a sua criação, os PITSJC/CAB já receberam investimentos na ordem de R\$ 2,10 bilhões, sendo 21% (R\$ 449 milhões) provenientes dos governos municipal, estadual e federal, e 79% (R\$ 1,65 bilhão) oriundos da iniciativa privada, (SJC, 2024).

Tabela 4 - Principais características identificadas no Cluster Aeroespacial Brasileiro

Aspectos	Detalhes
Ano de Fundação	2006
Tipo de Cluster	Top-Down, Local
Foco	Inovação e cooperação na indústria aeroespacial
Localização da Sede	São José dos Campos, SP
Extensão Geográfica	Atividades nas regiões de São José dos Campos, Vale do Paraíba, São Paulo
Iniciativa	Governamental, com apoio da Apex-Brasil, ABDI e EMBRAER
Número de membros	Mais de 130, incluindo startups, pequenas, médias e grandes empresas, instituições acadêmicas
Apoio financeiro do Governo Brasileiro	Sim, por meio de editais de chamadas públicas para projetos de pesquisa e inovação da FINEP, financiamentos com taxas especiais pelo BNDES. Existe redução do ISS e do ICMS para as empresas que atuam com produtos da área aeroespacial
Investimentos Governamentais	Estima-se que o Governo já investiu mais de R\$ 2 bilhões desde a sua criação

Fonte: O autor.

Desta forma, o CAB é um importante ecossistema para fomentar a CT&I na área aeroespacial brasileira, fortalecendo as empresas vinculadas nessa cadeia de produção. Devido à tecnologia aeroespacial ter caráter dual, muitas dessas empresas vinculadas ao CAB fazem parte da Associação Brasileira das

Indústrias de Materiais de Defesa e Segurança (ABIMDE¹⁷), fortalecendo assim a BID brasileira nesta área. A tabela 4 apresenta um resumo das principais características identificadas no CAB, durante as pesquisas realizadas nesta tese.

3.4 PERSPECTIVAS FUTURAS

Conforme foi apresentado nas seções anteriores, a cadeia de valor da EMBRAER e o CAB vem sendo fundamental para ampliar o alcance global das empresas brasileiras no setor aeronáutico, consolidando a participação do Brasil nesse setor altamente competitivo e com elevado valor tecnológico agregado. O PITSJC e o CAB geram mais de 7.000 empregos diretos e indiretos na região (PARQUE, 2024).

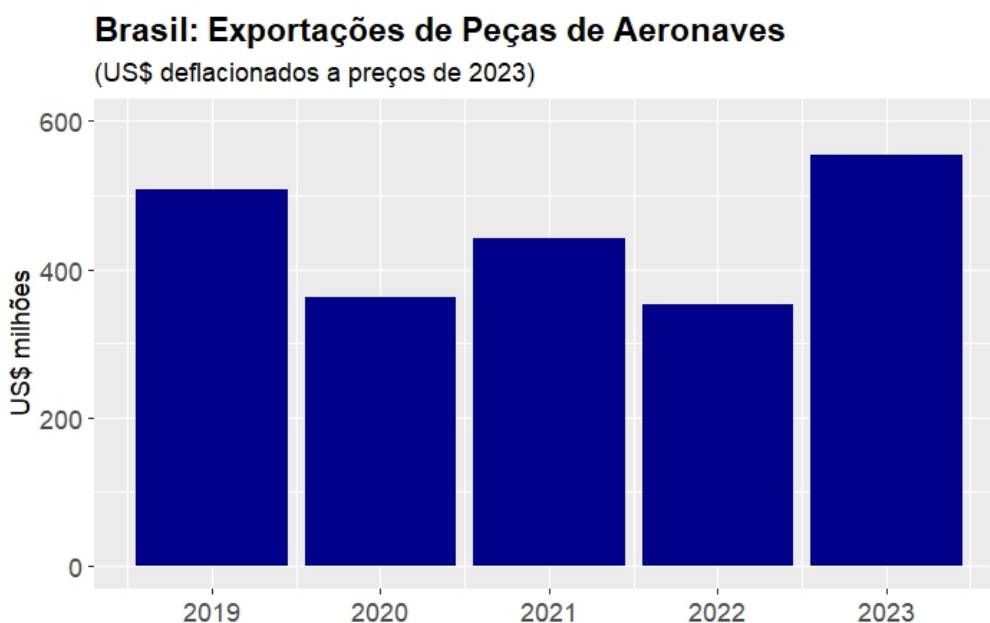
Visando estimar os valores de exportação das empresas fabricantes de peças e componentes aeronáuticos, foram consultados os dados fornecidos pelo UM-Comtrade (ONU,2024), sob os códigos de classificação “HS-8803” e “HS-8807”. Nesse contexto, no gráfico 1, são apresentados os valores das exportações brasileiras de peças de aeronaves. Vale destacar que os dados disponibilizados pela ONU não discriminam quais empresas foram as responsáveis por essas exportações.

Entretanto, em função das rígidas normas aeronáuticas para produção e fabricação de peças e componentes que serão empregados em aeronaves, é plausível supor que os valores das exportações apresentadas nesse gráfico são, em sua maioria, provenientes de empresas vinculadas da cadeia de valor da EMBRAER, em especial das suas plantas industriais e dos seus fornecedores, muitos presentes no PITSJC/CAB. Essa suposição é pautada nas dificuldades tecnológicas para a produção de peças e componentes aeronáuticos, reforçando a importância dessas empresas estarem inseridas na cadeia de valor da empresa âncora e em um ecossistema de CT&I, garantindo uma sinergia entre os envolvidos e, assim, diminuindo os seus custos e aumentando a sua competitividade internacional. O único local no Brasil que tem um ambiente favorável a esse setor de fornecimento de peças e componentes aeronáuticos é o fomentado em torno do CTA, das unidades de

¹⁷ <https://abimde.org.br/pt-br/>. (acesso em 19 mai. 2024)

Engenharia e Manufatura da EMBRAER, de seus fornecedores e, portanto, às empresas vinculadas ao PITSJC/CAB, justificando assim a supracitada suposição.

Gráfico 1 - Brasil: Exportações de Peças de Aeronaves



Fonte: Elaborado pelo autor, informações oriundas do Banco de dados da ONU

Nota: Dados compilados pelo autor, com programação em R.

Desta forma, é possível considerar que somado os últimos cinco anos as empresas brasileiras vinculadas ao CAB exportaram mais de US\$ 2,1 bilhões (em valores deflacionados a preços de 2023) em peças e componentes de aeronaves, garantindo-lhes, assim, sustentabilidade financeira, sem considerar as suas receitas oriundas do próprio mercado interno brasileiro.

Todos esses valores nas exportações de peças e aeronaves apresentados neste capítulo, demonstram os bons resultados do setor aeroespacial brasileiro que, por meio do CAB, vem promovendo o fortalecimento da BID, com geração de emprego especializado, retenção de talentos no território nacional e geração de projetos avançados em CT&I.

Analisando a trajetória do PITSJC/CAB, bem como da empresa âncora EMBRAER, fica evidenciado que a estrutura a partir do Tríplice Hélice, trouxe resultados significativos, fazendo com que o Brasil se tornasse um importante ator internacional no setor aeroespacial, mantendo uma cadeia de produção e

de vendas autossustentável, com reflexos positivos na economia e da BID brasileira.

Um outro ponto importante a ser destacado é o fato da FAB, via DCTA, receber *royalties* oriundos de contratos estabelecidos com EMBRAER. Conforme descrito em SOUZA, FILGUEIRAS (2021), diversos contratos entre a FAB e a EMBRAER possuem cláusulas contendo proteção à propriedade intelectual, com previsão de remuneração de *royalties* para a União, visto que a FAB, via seus Institutos de Ciência de Tecnologia (ICT) – IFI, IEAv, ITA e IEA – participam durante as fases de projeto e homologação de diversos projetos de aeronaves fabricadas pela EMBRAER (FAB, 2023, 2017; DEFESA, 2014).

Tais possibilidades legais de utilização do Tríplice Hélice, para captação de recursos não orçamentários para a FAB/DCTA, foi por meio da utilização dos Marcos Legais da Inovação (Lei 10.973/2004, complementada pela Lei 13.243/2016, conhecidas como Leis de Inovação Tecnológica), que permitiu que as ICT públicas participassem de projetos de pesquisas privadas, fornecendo-lhes o arcabouço jurídico necessário para recebimento de *royalties*. Para isso, conforme previsão legal nas referidas Leis de Inovação Tecnológica, se faz necessário a utilização de Fundações de Apoio, sem fins lucrativos, para gerir, administrativamente, os valores recebidos dos *royalties* e reaplicá-los nas ICT vinculadas aos projetos de inovação.

No âmbito do DCTA, a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE)¹⁸ vem atuando na gestão financeira dos *royalties* recebidos nos contratos estabelecidos entre a EMBRAER e FAB, por meio um Convênio Geral com o DCTA (SOUZA, FILGUEIRAS, 2021).

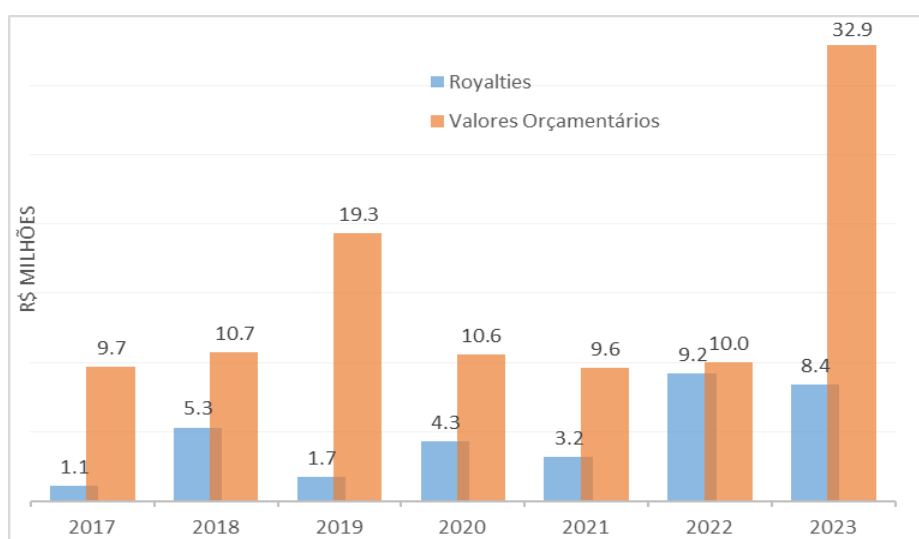
Em SOUZA, FILGUEIRAS (2021), foi realizado um levantamento dos *royalties* recebidos pelo DCTA, via FUNCATE, nos exercícios financeiros de 2017 a 2021, onde constatou-se que cerca de R\$ 30 milhões foram arrecadados para serem aplicados em investimentos de CT&I nas ICT do DCTA, o que representou quase metade dos valores orçamentários para a ação “20XB - Pesquisa e Desenvolvimento no Setor Aeroespacial”.

Visando atualizar os dados apresentados em SOUZA, FILGUEIRAS (2021), de forma a verificar os atuais valores recebidos, as pesquisas

¹⁸ www.funcate.org.br (acesso em 11 de junho de 2024).

realizadas nesta tese focaram na análise dos relatórios dos convênios e projetos entre o DCTA e a EMBRAER, geridos pela FUNCATE (FUNCATE, 2024), e pôde-se verificar que os valores não orçamentários arregados pelos *royalties* recebidos da EMBRAER chegam a R\$ 33.4 milhões, entre os períodos de 2017 a 2023, o que representa cerca de 32% dos valores dos valores orçamentários no mesmo período, conforme gráfico 2.

Gráfico 2- Royalties recebidos pelo DCTA, via FUNCATE, versus valores orçamentários da Ação 20XB, 2017 a 2023



Fonte: Elaborado pelo autor, com dados da FUNCATE e do Portal da Transparência.

Com isso, este capítulo procurou evidenciar a importância de um ecossistema colaborativo e bem estruturado como o CAB, com a EMBRAER como empresa âncora, para o fortalecimento do setor aeroespacial brasileiro. Destacaram-se os investimentos financeiros, os resultados alcançados, a sinergia entre empresas, instituições de pesquisa e governo, bem como a dinâmica jurídica envolvendo o recebimento de *royalties* pelo DCTA, que fomenta a pesquisa e a inovação do setor aeroespacial brasileiro, beneficiando as empresas vinculadas à BID, além de promover o fomento à pesquisa e a retenção de talentos no país.

No próximo capítulo serão apresentados os resultados das investigações realizadas sobre o Ciclo do Combustível Nuclear Francês, incluindo as empresas envolvidas, os incentivos oferecidos e as singularidades das *joint ventures* utilizadas, com o objetivo de identificar lições e práticas que possam ser aplicadas ao contexto brasileiro.

4 O CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR FRANCÊS

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado o ciclo do combustível nuclear francês que, conforme já comentado anteriormente, possui uma importância estratégica para a garantia da manutenção da matriz energética daquele país, visto que cerca de 70% de sua energia é baseada em usinas nucleares (WNA, 2023b, pg 17 e 48). Vale destacar que, apesar de sua matriz energética ser significativamente dependente da energia nuclear, a França não possui grandes reservas de urânio, fazendo que com o país tenha uma dependência no fornecimento do urânio natural.

Desse modo, a França mantém estoques estratégicos de urânio natural, na forma de *yellow cake* (U₃O₈), em seu território. Além disso, ao longo dos anos, vem estabelecendo estreita relações de comércio e de parcerias com países que possuem reservas desse minério, como é o exemplo da Rússia, Niger, Canadá, dentre outros.

Entretanto, devido às mudanças nas conjecturas geopolíticas mundiais dos últimos anos, intensificadas pela pandemia de COVID-19 e, recentemente, pela guerra entre a Rússia e a Ucrânia, a França vem reforçando a sua estratégia de manter o seu ciclo do combustível nuclear com a menor dependência externa possível (WNA, 2023a, pg. 36 e 48). Adicionalmente, a França tem a intenção de construir mais 6 usinas nucleares até 2040, (WNA, 2023b, pg. 28 e 60).

Nas próximas seções, serão apresentados os resultados das investigações realizadas nesta tese que envolvem as fases do ciclo do combustível nuclear francês, no que tange aos principais atores que atuam nessa área, as ações que o governo e as empresas francesas vêm realizando para garantir a sua independência na área nuclear, o estabelecimento de ecossistemas de inovação para o fortalecimento de sua base industrial, como é o caso do seu *Cluster Tecnológico Nuclear*, conhecido como *Nuclear Valley*¹⁹, além das *joint venture* realizadas entre empresas francesas e empresas estrangeiras. Adicionalmente, serão apresentados os valores financeiros

¹⁹ www.nuclearvalley.com (acesso em 12 de abril de 2024).

envolvidos e comercializados pelas empresas francesas nos últimos anos nessa área, o que garante uma sustentabilidade econômica para essas atividades.

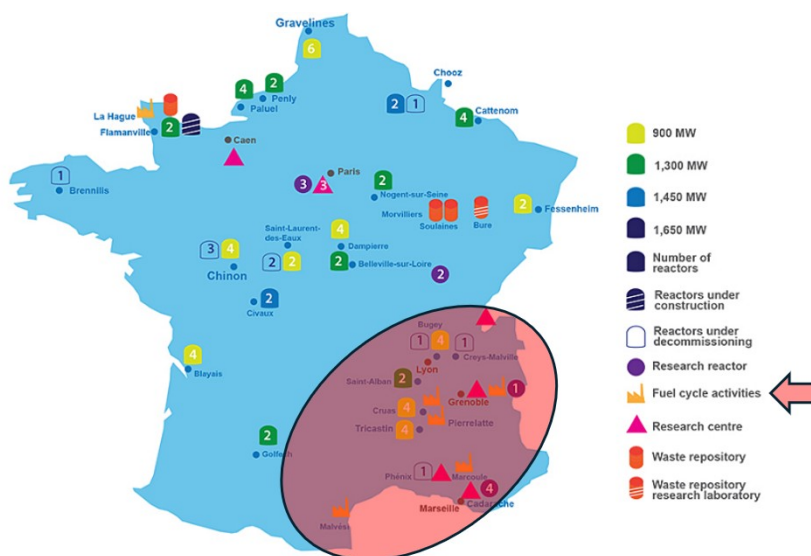
Espera-se, ao final deste capítulo, evidenciar que o ciclo do combustível nuclear francês desempenha um papel importante para a sociedade francesa, sob o ponto de vista de econômico, geração de emprego, fomento a CT&I, a base industrial e a BID.

4.2 PRINCIPAIS EMPRESAS FRANCESAS ENVOLVIDAS NO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR

Antes de iniciar a abordagem das principais empresas envolvidas no ciclo do combustível nuclear francês, é importante visualizar as atividades relacionadas à área nuclear sob o ponto de vista geográfico e regional. Isso justifica-se pelo fato de que essas informações serão utilizadas nas seções seguintes, onde os ecossistemas empresariais e as *joint ventures* investigadas nesta tese serão tratados.

Nesse contexto, na figura 7, é apresentado o mapa da França com as principais regiões e cidades que fazem parte da sua infraestrutura nuclear, destacando-se as usinas em operação, em construção e em fase de descomissionamento, reatores e centros de pesquisas, depósitos de rejeitos e os locais onde as atividades do ciclo do combustível nuclear são realizadas.

Figura 7- Principais instalações nucleares na França



Fonte: IAEA, 2019. Nota: imagem alterada pelo autor.

O ciclo do combustível nuclear francês inclui as fases de conversão, enriquecimento, reconversão, fabricação do elemento combustível, seguido pelo reprocessamento e culminando com a utilização do combustível nos reatores nucleares e o armazenamento final dos resíduos radioativos. Por possuir a fase de reprocessamento, conforme visto na seção 2.3.4, o ciclo do combustível nuclear francês é classificado como ciclo fechado.

As atividades relacionadas ao ciclo do combustível nuclear estão concentradas na região sul da França. A fase da conversão, onde o *Yellow Cake* é convertido em gás de UF₆, é realizada em Malvési e Tricastin. O processo inicia em Malvési, onde uma instalação especializada converte o *Yellow Cake* (U₃O₈) em tetrafluoreto de urânio (UF₄). Em Tricastin, por meio de uma planta físico-química, o UF₄ é convertido em gás de UF₆, encerrando a fase da conversão (Fase 2). A fase de enriquecimento isotópico (Fase 3) ocorre em Tricastin, nas instalações denominadas Georges Besse²⁰ I e Georges Besse II. As fases de reconversão para pastilha de urânio (Fase 4) e a fabricação do elemento combustível (Fase 5) são realizadas em Romans-sur-Isère. Em Marcoule, localizado no sul da França, é realizada a produção do MOX e o material utilizado para essa fase é oriundo da planta de enriquecimento de Tricastin e da planta de reprocessamento de La Hague, localizado no noroeste da França. Em La Hague, está localizado um dos mais avançados centros de reprocessamento de combustível irradiado (ANDRA, 2022; WNA, 2023b).

Existem diversas empresas que atuam em toda a cadeia de produção da energia nuclear francesa. De um modo geral, as principais empresas²¹ envolvidas são: ORANO, FRAMATOME, EDF (*Électricité de France*) e ANDRA.

Especificamente, nas fases do ciclo do combustível nuclear francês, as empresas ORANO, FRAMATOME e ANDRA tem atuação direta, conforme

²⁰ Georges Besse foi um empresário francês que presidiu da Renault e a Eurodif, uma empresa francesa de enriquecimento de urânio. Besse foi assassinado em 1986 por membros do grupo extremista de esquerda Action Directe.

²¹ Fonte: *World Nuclear Association (online)*, Ano 2021 <<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx>> (acesso em: 20 abr. 2024).

mostrado na tabela 5, que indica as fases do ciclo em que cada empresa atua²², além das cidades envolvidas (WNA, 2023b, 2023a).

Tabela 5 - Principais empresas que atuam no ciclo do combustível francês²³

Fases do ciclo	Empresa	Cidades
1. Mineração	ORANO	Em outros países
2. Conversão para UF6	ORANO	Malvési e Tricastin
3. Enriquecimento	ORANO	Tricastin
4. Reconversão para pastilhas	FRAMATOME	Romans-sur-Isère
5. Fabricação do Elemento Combustível	FRAMATOME	Romans-sur-Isère
6. Operação dos geradores nucleoeletricos	EDF	Diversas
7. Tratamento e Gestão de resíduos radioativos	ANDRA	Bure e Soulainess-Dhuys
8a e 8b. Reprocessamento	ORANO	La Hague

Fonte: *World Nuclear Association* (WNA, 2023b, 2023a)

Nota: Dados compilados pelo autor.

Desta forma, é possível verificar que as diversas atividades relacionadas ao ciclo do combustível nuclear francês estão localizadas em diferentes cidades das regiões sul e noroeste da França.

A seguir, serão apresentados os resultados das pesquisas realizadas para cada uma dessas empresas, levando-se em consideração os seus relatórios gerenciais anuais, informações disponibilizadas na *internet* e banco de dados oficiais do governo francês, além de outras informações de relatórios específicos, disponibilizadas na *International Atomic Energy Agency*²⁴ e na *World Nuclear Association*²⁵.

4.2.1 Empresa ORANO

A empresa ORANO foi fundada em 2018 como resultado de uma reestruturação da AREVA Group. A ORANO foi criada para focar

²² A empresa AREVA, que foi uma importante multinacional francesa especializada na área nuclear, sofreu uma reestruturação entre os anos de 2016 e 2017 e passou a ter como sucessoras as empresas ORANO, com foco no ciclo do combustível nuclear, e a FRAMATOME, com foco nos reatores nucleares e seus serviços relacionados, como por exemplo a fabricação dos elementos combustíveis. (WNN, 2018)

²³ As referidas empresas possuem as seguintes páginas na internet: Orano - www.orano.group, Framatome - www.framatome.com, EDF - www.edf.fr e ANDRA - www.international.andra.fr. (todas com acesso em: 24 abr. 2024)

²⁴ www.iaea.org

²⁵ www.world-nuclear.org

especificamente nas atividades do ciclo do combustível nuclear. Esta reestruturação teve como objetivo otimizar as operações e fortalecer a presença no mercado nuclear local e global (WNN, 2018a).

A ORANO é a que mais tem atuação direta no ciclo do combustível nuclear francês, cabendo a ela as fases que envolvem maior complexidade tecnológica, que são: o enriquecimento (Fase 3), seguida pela conversão para UF6 (Fase 2) e o reprocessamento dos elementos combustíveis irradiados para produção do MOX (Fases 8a e 8b). Além disso, também tem atuação nas atividades de mineração (Fase 1), por meio de parcerias ou *joint ventures*, principalmente com empresas de países que possuem reservas de urânio natural. De acordo com as informações obtidas em seu site oficial, atualmente a empresa possui 17 unidades industriais em toda a França e possui mais de 12.000 funcionários, (ORANO, 2024b).

Tabela 6 - Principais valores financeiros da ORANO nos últimos 4 anos

Ano	Receita em bilhões de euros	Receitas futuras em bilhões de euros (Backlog)	Fluxo líquido de caixa em milhões de euros	Dívida Líquida em bilhões de euros
2020	€ 3,80	€ 29,90	€ 219,00	€ 2,20
2021	€ 4,70	€ 26,10	€ 210,00	€ 1,90
2022	€ 4,20	€ 30,80	€ 128,00	€ 1,70
2023	€ 4,78	€ 30,80	€ 247,00	€ 1,50

Fonte: *Annual Activity Report – 2023 (ORANO, 2023, pg 20 a 23)*

Nota: Dados compilados pelo autor.

Em seu relatório anual de 2023, (ORANO, 2023) a ORANO apresentou um aumento em suas receitas desde a sua criação, conforme apresentado na tabela 6. Também é possível verificar que existe uma previsão de receitas futuras, por meio de contratos já celebrados (*backlog*), de aproximadamente €30.80 bilhões. Em 2023, apresentou uma receita de €4.78 bilhões, com um aumento de 13,8% em relação ao ano anterior, 2022. Esse acréscimo foi atribuído ao aumento das atividades em todas as fases do ciclo do combustível nuclear, impulsionadas pelas novas demandas mundiais para o aumento do ciclo de vida e construção de novas usinas nucleares²⁶, além da elevação do

²⁶ De acordo com o relatório da *IEA Net Zero by 2050*, (IEA, 2021), a geração de energia elétrica por meio de usinas nucleares foi considerada com baixa emissão de carbono. Dessa forma, muitos países vêm priorizando a instalação de novas usinas nucleares em matriz energética

preço do urânio (em especial do urânio enriquecido), devido aos recentes conflitos mundiais. O fluxo de caixa líquido da ORANO apresentou um aumento de 93%, passando de €128 milhões em 2022, para €247 milhões em 2023, refletindo na queda de sua dívida líquida em cerca de 12% de 2022 para 2023.

No que se refere as suas relações comerciais internacionais, cerca de 49,6% de suas receitas de 2023 foram provenientes de países localizados nos continentes europeus, asiáticos, africanos e americanos, ou seja, €2.37 bilhões. A tabela 7 apresenta a compilação desses dados, apresentados no relatório de balanço comercial da empresa.

Tabela 7 - Distribuição das receitas de 2023 da ORANO: Regiões e Fases do Ciclo do Combustível

Região do Mundo	Bilhões de euros	Fases do ciclo do combustível comercializados
França (mercado interno)	€2,41 (50.4%)	Fase 1 - Yellow Cake (U3O8) Fase 2 - Conversão (UF6) Fase 3 - Enriquecimento (U235 - SWU) Fase 8a e 8b - Reprocessamento
Europa (excluindo a França)	€0,72 (15.1%)	Fase 1 - Yellow Cake (U3O8) Fase 2 - Conversão (UF6) Fase 3 - Enriquecimento (U235 - SWU) Fase 8a e 8b - Reprocessamento
Américas	€0,64 (13.4%)	Fase 1 - Yellow Cake (U3O8) Fase 2 - Conversão (UF6) Fase 3 - Enriquecimento (U235 - SWU)
Ásia	€0,91 (19.0%)	Fase 1 - Yellow Cake (U3O8) Fase 2 - Conversão (UF6) Fase 3 - Enriquecimento (U235 - SWU) Fase 8a e 8b - Reprocessamento
África e Oriente Médio	€0,10 (2.1%)	Fase 1 - Yellow Cake (U3O8)

Fonte: *Annual Activity Report – 2023 (ORANO, 2023, pg 21, 24 a 27)*

Nota: Dados compilados pelo autor.

Todos esses dados refletem que a empresa ORANO desempenha um papel estratégico no mercado nuclear francês, com vertentes comerciais para atendimento às demandas do mercado internacional. Com isso, consegue garantir uma robustez financeira para manter as suas atividades vinculadas ao ciclo do combustível nuclear francês, propiciando novos investimentos em CT&I para aumentar a sua produtividade. Nesse sentido, em 2023, a ORANO contratou 1.455 novos funcionários, sendo um terço de engenheiros e gerentes (ORANO, 2023, pg 137), para atender às suas novas unidades de negócio.

Em relação a sua estrutura de capital, a ORANO tem os seguintes acionistas: Governo Francês (89.9999996%), *Comissariat à l'Énergie Atomique et aux Énergies Alternatives* - CEA (0.0000004%), *Japan Nuclear Fuel Limited* – JNFL (5%), *Mitsubishi Heavy Industries Ltd* (5%), (ORANO, 2023, pg 246). Desta forma, o governo francês garante uma governança estável e alinhada com objetivos estratégicos de longo prazo do país, visto que o setor nuclear na França é considerado estratégico.

Paralelamente, a ORANO atua tecnicamente com diversas empresas dos seguintes países: Alemanha, Canadá, China, Coreia do Sul, Estados Unidos, União Europeia, Gabão, Japão, Cazaquistão, Mongólia, Namíbia, Níger, Uzbequistão e Reino Unido (ORANO, 2023). Muitas dessas atuações são realizadas por meio do estabelecimento de *joint venture* com as empresas desses países. Na fase de mineração (Fase 1), por exemplo, a ORANO mantém *joint venture* com as empresas Cominak SA e Somair SA (do Níger), Katco (do Cazaquistão), com as empresas canadenses Cigar Lake, McArthur River e Key Lake, dentre outras. Com isso, a empresa consegue garantir as suas necessidades de *Yellow Cake* (U3O8), visto que a França não possui reservas significativas em seu território (ORANO, 2023, pg 34, 292, 306).

Uma outra *joint venture* importante para o ORANO foi com a empresa inglesa *Enrichment Technology Company*²⁷ (ETC), que já possuía uma tecnologia consagrada na fabricação de ultracentrífugas e de cascatas de enriquecimento isotópico de urânio. A ETC foi fundada em 2003, por meio de uma *joint venture* entre a URENCO²⁸ e a AREVA (posteriormente desmembrada para a ORANO) em 2006. Esta parceria, por *joint venture*, foi estratégica para o ciclo do combustível nuclear francês, visto que possibilitou acesso à tecnologia de enriquecimento isotópico de urânio por ultracentrifugação, tecnologia essa que a França ainda não dominava, visto que realizava o seu enriquecimento pelo método de difusão gasosa.

²⁷ www.enritec.com (acesso em 01 mai. 2024).

²⁸ A URENCO, fundada em 1971 após o Tratado de Almelo entre Alemanha, Holanda e Reino Unido, tem uma longa história em tecnologia de enriquecimento de urânio e desempenhou um papel significativo no desenvolvimento e comercialização da tecnologia de ultracentrifugação a gás. A *expertise* e a infraestrutura da URENCO foram fundamentais para o estabelecimento e o sucesso da ETC. Fonte: www.enritec.com (acesso em 01 mai. 2024).

Nesse contexto, a *joint venture* entre a ETC e a ORANO foi fundamental durante a transição da planta de enriquecimento Georges Besse I (que utilizava a técnica de difusão gasosa para o enriquecimento), para a Georges Besse II, que passou a utilizar cascatas de ultracentrífugas desenvolvidas pela ETC. Vale destacar que a implementação das cascatas de ultracentrífugas na Georges Besse II representou um avanço tecnológico significativo para o ciclo do combustível nuclear francês. Esse avanço permitiu à França, por meio da ORANO, assumir uma posição de destaque no comércio mundial de urânio enriquecido. O acesso a uma tecnologia de cascatas de ultracentrífugas já consagrada, com longo período de maturidade tecnológica oriunda da URENCO/ETC, foi essencial para que a ORANO se posicionasse de forma competitiva no mercado global de enriquecimento isotópico de urânio, contribuindo assim para os atuais resultados financeiros apresentados anteriormente.

Considerando as fases do ciclo do combustível nuclear em que a ORANO mantém as suas atividades, a tabela 8 apresenta as suas atuais capacidades de produção por fases do ciclo, de acordo com os seus relatórios de atividades de 2022 e 2023, (ORANO, 2022 e 2023).

Tabela 8 - Capacidade atual da ORANO, por fase do ciclo do combustível

Fases do ciclo	2022	2023
1. Mineração (Yellow Cake – U3O8)	2.400 toneladas	6.300 toneladas
2. Conversão para UF6	8.900 toneladas	10.000 toneladas
3. Enriquecimento	7.5 milhões de SWU	7.5 milhões de SWU + 30%
4. Reconversão para pastilhas	não informado	não informado
8a e 8b. Reprocessamento	195 toneladas de MOX	195 toneladas de MOX

Fonte: *Annual Activity Report – 2022 e 2023* (ORANO, 2023 e 2022)

Nota: Dados compilados pelo autor.

Em outubro de 2023, a ORANO anunciou a expansão da capacidade de enriquecimento de urânio na planta de Georges Besse II, com aporte financeiro que chegam a €1.7 bilhões. O planejamento é construir quatro módulos adicionais, aumentando a capacidade da planta em 2,5 milhões de Unidades de Trabalho Separativas²⁹ (UTS), o que corresponde a 30% da atual

²⁹ UTS – Unidade de Trabalho Separativa, *Separative Work Unit* (SWU), é uma unidade de medida que quantifica a energia necessária para enriquecer urânio, separando o isótopo U-235 do U-238. É usada para avaliar a eficiência e o custo do processo de enriquecimento de

capacidade. O projeto conta com o apoio de acionistas japoneses e coreanos. A decisão de expansão foi motivada por solicitações de clientes dos EUA e da Europa que buscam alternativas às fontes de suprimento russas. A produção está prevista para começar em 2028, com uma rampa no crescimento até alcançar a produção nominal em 2030 (WNA, 2023a).

Dessa forma, as pesquisas realizadas nesta tese mostram que a ORANO está se consolidando cada vez mais no mercado interno francês e no mercado internacional, desempenhando um papel fundamental na cadeia de produção do ciclo do combustível nuclear na França e no mundo, com resultados financeiros significativos e em ascensão.

4.2.2 Empresa FRAMATOME

Fundada em 1958 como uma *joint venture* chamada *Franco-Américaine de Constructions Atomiques* (FRAMATOME), a empresa começou as suas atividades como uma fabricante de componentes para a indústria nuclear, aproveitando o surgimento da energia nuclear como uma fonte de energia alternativa pós-Segunda Guerra Mundial (WNN, 2018b).

Ao longo dos anos, a FRAMATOME expandiu as suas operações, envolvendo-se em *design*, manutenção e fabricação de componentes críticos para reatores nucleares. A empresa passou por várias reestruturações e mudanças de propriedade ao longo do tempo, inclusive sendo adquirida pela AREVA em 2006 (WNN, 2018b). Em 2018, a FRAMATOME foi reestabelecida como uma marca independente. Atualmente, a FRAMATOME emprega mais de 18.000 funcionários em todo o mundo, sendo que 7.500 estão na França (FRAMATOME, 2024a).

De acordo com o seu último relatório financeiro de 2023 (FRAMATOME, 2024b), a atual estrutura de capital tem os seguintes acionistas: *EDF Group* (80.5%), que é uma empresa governamental (EDF, 2023), e *Mitsubishi Heavy Industries* (19.5%). Dessa forma, assim como acontece com a ORANO, o governo francês mantém o controle da empresa.

urânio em instalações nucleares. No mercado de urânio enriquecido, essa unidade é precificada.

Atualmente a FRAMATOME é considerada uma empresa com elevada capacidade técnica para fabricar elementos combustíveis para os reatores nucleoeletrônicos, além de diversos componentes críticos que seguem rígidos critérios e certificações nucleares. Adicionalmente, a FRAMATOME fabrica sistemas de controle e instrumentação para os reatores nucleoeletrônicos (FRAMATOME, 2024a).

Por essa razão, no que se refere ao ciclo do combustível nuclear francês, a FRAMATOME tem atuação direta na fabricação e no reprocessamento dos elementos combustíveis (Fases 5 e 8a, figura 2), além de equipamentos específicos que são utilizados nas instalações ao longo do ciclo do combustível nuclear.

Em seus relatórios financeiros dos últimos 4 anos, a FRAMATOME apresentou um aumento em suas receitas, conforme apresentado na tabela 9. Do ano de 2020 para 2023, houve um aumento de 23,3% em suas receitas e 68% em seu *backlog*. Esse acréscimo evidencia as novas demandas mundiais para os produtos oriundos do ciclo do combustível nuclear, sendo nesse caso específico, para as Fases 5 e 8a do ciclo.

Tabela 9 – Principais valores financeiros da FRAMATOME nos últimos 4 anos

Ano	Receita em bilhões de euros	Receitas futuras em bilhões de euros (Backlog)	Fluxo líquido de caixa em milhões de euros	Dívida Líquida em bilhões de euros
2020	€ 3,30	€ 2,87	€ 276,00	não informado
2021	€ 3,36	€ 3,70	€ 301,00	não informado
2022	€ 4,12	€ 3,75	€ 290,00	não informado
2023	€ 4,07	€ 4,84	€ 243,00	não informado

Fonte: FRAMATOME reports and financial results - 2020 a 2023 (FRAMATOME, 2024b, pg. 1 e 2)(FRAMATOME, 2023, pg. 1 e 2)(FRAMATOME, 2022, pg1 e 2)(FRAMATOME 2021, pg.1 e2).

Nota: Dados compilados pelo autor.

Diferentemente da ORANO, a FRAMATOME não apresenta de maneira ostensiva a origem de suas receitas, razão pela qual não foi possível identificar o quanto dos valores listados na tabela 9 são oriundos de comercialização por demandas internas da França, ou por demandas internacionais. Situação similar acontece com as quantidades produzidas e fabricadas por ela, que também não foram informadas em seus relatórios anuais.

Entretanto, no seu último relatório apresentado, referente ao fechamento do ano de 2023 (FRAMATOME, 2024b, pg 1), a FRAMATOME declara que teve relações comerciais com várias regiões e países. A empresa assinou contratos para o fornecimento de combustível nucleares para os reatores VVER na República Tcheca e na Bulgária. Além disso, a FRAMATOME continuou a implementar ações para aumentar sua participação no mercado na Europa e na América do Norte. Também houve atividades financeiras com a EDF na França e com a Eskom na África do Sul, além de entregas de equipamentos para o projeto Angra 3 no Brasil e para a Bruce Power no Canadá. Isso destaca a ampla gama geográfica das operações comerciais da FRAMATOME, abrangendo múltiplos continentes e se envolvendo em uma variedade de segmentos dentro do setor de energia nuclear.

Sendo assim, as pesquisas desta tese sobre a FRAMATOME demonstram que a empresa possui uma atuação técnica relevante no ciclo do combustível nuclear francês, com atuação também no mercado internacional. Os valores das receitas, assim como na ORANO, são significativos e apresentam uma tendência de ascensão.

4.2.3 Empresa ANDRA

A empresa ANDRA, *Agence Nationale pour la gestion des Déchets RAdioactifs*, foi fundada em 1979 por uma estratégia do governo francês em centralizar a gestão e o controle dos resíduos nucleares oriundos de diversas organizações (ANDRA, 2024a). Anteriormente, as próprias organizações gerenciavam e operavam os seus reservatórios nucleares. A criação da ANDRA proporcionou a centralização e a gestão de resíduos radioativos na França, assegurando padrões mais elevados de segurança e eficiência ambiental, sob supervisão e regulação do Órgão Regulador francês, a *Autorité de Sûreté Nucléaire* (ASN) (ANDRA, 2024b). Dessa forma, a ANDRA é a responsável pela coleta, tratamento, armazenamento e disposição final dos resíduos na França.

Nesse contexto, sob o ponto de vista das atividades do ciclo do combustível nuclear francês, a ANDRA desempenha um importante papel de gerenciamento dos resíduos nucleares, provenientes das diversas fases do ciclo. Por essa razão, as empresas ORANO e FRAMATOME mantêm contratos

comerciais com a ANDRA para a gestão dos resíduos nucleares oriundos das fases do ciclo do combustível nuclear que cada uma é responsável.

O último relatório de suas atividades financeiras foi emitido em 2022, onde consta que a ANDRA tem a sua estrutura de capital com 100% de controle governamental francês, ficando subordinada aos Ministérios de Energia, Pesquisa e Meio Ambiente da França; possui pouco mais do que 700 empregados e receitas de €223 milhões (ANDRA, 2022, pg. 5 e 6), conforme distribuição apresentada na tabela 10.

Tabela 10 – Fontes das receitas da ANDRA de 2022

Tipo de receita	Valor	Empresas pagadoras	Explicação
Contratos Comerciais	33% / 73,6 milhões	ORANO, FRAMATOME, EDF, Centros de Pesquisas, hospitais, etc	Receitas de contratos para gestão de resíduos.
Contribuição Especial	39% / 87,0 milhões	ORANO, FRAMATOME e EDF	Fundos para projetos de longo prazo para a gestão de resíduos.
Imposto sobre Pesquisa	26% / 58,0 milhões	ORANO, FRAMATOME, EDF, Centros de Pesquisas e hospitais	Imposto para financiar P&D em gestão de resíduos.
Subsídios Governamentais	2% / 4,5 milhões	Governo Francês	Apoio direto do governo para operações da ANDRA.

Fonte: (ANDRA, 2022, pg 5 e 6)

Nota: Dados compilados pelo autor.

Atualmente, alguns depósitos da ANDRA estão com aproximadamente 66% de sua capacidade licenciada e existem planos para a expansão dessa capacidade até 2040 (ANDRA, 2023a, pg 20 e 21). A maior parte dos resíduos nucleares são oriundos das usinas nucleares francesas. Entretanto, existe uma parcela significativa das empresas que atuam no ciclo do combustível nuclear, como é o caso da ORANO e FRAMATOME, que também fornecem materiais para os depósitos da ANDRA. Na tabela 11, são apresentadas as distribuições dos resíduos nucleares pelos principais setores que os geraram em 2023, destacando-se que cerca de 8,70% são oriundos dos submarinos e outros artefatos vinculados os Ministério de Defesa francês (ANDRA, 2023a, pg 20).

Tabela 11 – Inventário anual de resíduos em 2023

Origem	Percentual	Empresas e órgãos	Explicação
Geração de Energia Nuclear	60,90%	EDF, Orano, Framatome	Maior parte dos resíduos provém das atividades de operação e desmantelamento de usinas nucleares.
Pesquisa	26,60%	Centros de Pesquisa, Universidades	Resíduos gerados por pesquisa em diversas áreas como medicina, física nuclear e biologia.
Defesa	8,70%	Ministério da Defesa	Resíduos provenientes de atividades de dissuasão e propulsão nuclear de navios e submarinos.
Indústria Não-Nuclear	3,30%	Empresas de mineração e processamento de metais	Resíduos de processos industriais que utilizam materiais radioativos para diversas aplicações.
Medicina	0,50%	Hospitais, Clínicas de Radioterapia	Resíduos de atividades diagnósticas e terapêuticas que utilizam materiais radioativos.

Fonte: (ANDRA, 2023a, pg 19, 20 e 21)

Nota: Dados compilados pelo autor.

As instalações da ANDRA que gerenciam esses resíduos estão estrategicamente localizadas em diversas regiões da França. As instalações industriais em Aube e as instalações de armazenamento e disposição em Bure e Soullaines-Dhuys são alguns dos pontos principais. Além dessas, a ANDRA está ampliando um depósito subterrâneo, em Bure, destinado ao armazenamento geológico profundo de resíduos de alta atividade e longa duração (ANDRA, 2023b).

Pelas pesquisas realizadas nesta tese, a empresa ANDRA tem atuação importante no gerenciamento dos resíduos nucleares do ciclo do combustível nuclear, inclusive os oriundos dos submarinos nucleares da França.

4.3 CLUSTER TECNOLÓGICO – NUCLEAR VALLEY

Conforme já apresentado nos capítulos 2 e 3, os *clusters* tecnológicos desempenham um papel de grande importância em se tratando de criação de ecossistemas favoráveis à CT&I, visto que propiciam a interação e a troca de informações entre as empresas associadas, reduzindo os custos e aumentando a eficiência na realização de desenvolvimento de novos produtos. Esses

resultados fortalecem as empresas envolvidas, com influência direta na competitividade e autonomia da BID dos países que mantêm os *clusters* tecnológicos em áreas estratégicas.

Nesse contexto, o *Nuclear Valley* é um exemplo de *cluster* tecnológico especializado em projetos na área nuclear. Fundado em 2015, como uma iniciativa governamental francesa, apoiada por um consórcio de empresas e organizações já consolidadas na indústria nuclear da França, como as empresas ORANO, FRAMATOME, CEA, ANDRA e EDF. Objetivo foi criar um ambiente propício para a inovação e a cooperação entre os diversos atores do setor. Atualmente, esse *cluster* agrupa mais de 430 membros, incluindo *startups*, pequenas, médias e grandes empresas e instituições acadêmicas, sendo apontado como um polo de competitividade na indústria nuclear e de defesa, (VALLEY, 2024; e REEL, 2024).

Baseado nos conceitos teóricos apresentados no capítulo 2, o *Nuclear Valley* é classificado como sendo um cluster *Top-down*, porque foi estabelecido como parte de uma iniciativa governamental francesa, além de outras empresas-chaves do setor, com o objetivo de fortalecer e promover a indústria nuclear e de defesa. Também é classificado como um *cluster* regional e sua sede está estrategicamente localizada em Chalon-sur-Saône, centro leste da França, região com uma significativa base industrial e acadêmica. Embora a sua sede esteja em Chalon-sur-Saône, as suas atividades estendem-se por mais de uma localização geográfica, cobrindo especificamente as regiões de Bourgogne-Franche-Comté e Auvergne-Rhône-Alpes na França, onde mantém escritórios regionais nessas áreas. Isso demonstra a sua característica de *cluster* regional, operando em Arranjos Produtivos Regional (APR), de múltiplas localidades para aumentar as sinergias regionais e acesso a diferentes tipos de recursos e competências na área nuclear.

O governo francês oferece suporte financeiro ao *Nuclear Valley* por meio de várias iniciativas e fundos destinados ao desenvolvimento tecnológico e à inovação. Especificamente, o *Nuclear Valley* se beneficia de chamadas para projetos como o "*Programme d'Investissement d'Avenir*" (Programa de Investimento para o Futuro), que é um fundo governamental dedicado às tecnologias do futuro (FRANÇA, 2023). Esses programas são parte do compromisso do governo em fomentar a pesquisa e o desenvolvimento nas

regiões, com foco na competitividade e na capacitação tecnológica das empresas envolvidas.

Recentemente, o governo se comprometeu com um aporte de €1 bilhão como parte do plano "France 2030" (SIFTED, 2024). Esse financiamento é destinado a apoiar projetos nucleares e *startups* que desenvolvem tecnologia de reatores nucleares modulares (*Small Module Reactors* – SMR). Esse investimento visa fomentar iniciativas para promover a inovação no setor e, uma vez que a maioria das *startups* na área nuclear fazem parte do cluster *Nuclear Valley*, esses investimentos reforçarão a sua atuação como ecossistema de inovação no desenvolvimento de tecnologias nucleares como um todo.

Ainda no contexto de apoio financeiro e incentivo do governo francês, apresentam-se os seguintes exemplos: apoio de €100 bilhões para os projetos de fabricação de combustíveis nucleares e outros componentes da FRAMATOME e de diversas outras empresas, que foram selecionados para receber financiamento do plano de recuperação (NEI, 2021); apoio de €10 milhões para os novos projetos vinculados à área nuclear, com a ORANO e as *startups* Stellaria e Thorizon (ORANO, 2024c; e NEI, 2024). Tais iniciativas fomentam e geram expectativas não só para as grandes empresas do setor, mas também para as pequenas, médias e as *startups*, que muitas vezes são subcontratadas para realização de atividades técnicas mais específicas e com elevado grau de tecnologia envolvida, bem como geram novos empregos, como foi o caso dos exemplos anteriormente citados.

Adicionalmente, as grandes empresas do setor nuclear francês, como a ORANO, FRAMATOME, ANDRA e EDF, frequentemente oferecem apoio e incentivos por meio de abertura de financiamentos para projetos de pesquisas e desenvolvimento para empresas como as *startups* que, conforme já comentado anteriormente, em sua maioria fazem parte do *Cluster Nuclear Valley*. Normalmente, o aporte financeiro tem como objetivo os desenvolvimentos de novos projetos CT&I na área nuclear e correlatas. Um exemplo desse tipo de apoio pode ser encontrado em ORANO (2024a), onde a empresa ORANO lançou um fundo de investimento para cerca de 20 *startups* que apresentarem projetos estratégicos para a empresa, garantindo a possibilidade de investimento da ORANO ao longo de 5 anos.

Todas essas iniciativas também refletem positivamente na BID francesa, visto que na maioria das vezes, pelo seu caráter de tecnologia dual³⁰, as empresas que atuam no ciclo do combustível nuclear também prestam serviços para os submarinos franceses de propulsão nuclear. A título de exemplo desse fato, FRAMATOME tem acordos técnicos-comerciais com a *Naval Group*³¹, especialmente no desenvolvimento e implementação de tecnologias de propulsão nuclear, conforme anunciado em (NAVAL, 2021), além de recentemente terem adquirido a empresa Jeumont Electric, que é especializada em motores e equipamentos elétricos utilizados na propulsão nuclear (DEFESA, 2024; e GROUP, 2024).

Tabela 12 - Principais características identificadas no Nuclear Valley

Aspectos	Detalhes
Ano de Fundação	2015
Tipo de Cluster	Top-Down, Regional
Foco	Inovação e cooperação na indústria nuclear e de defesa
Localização da Sede	Chalon-sur-Saône, Bourgogne-Franche-Comté, França
Extensão Geográfica	Atividades nas regiões de Bourgogne-Franche-Comté e Auvergne-Rhône-Alpes. Mantém sedes regionais nessas áreas
Iniciativa	Governamental francesa, apoiada por um consórcio de empresas como ORANO, FRAMATOME, CEA, ANDRA, ED
Número de membros	Mais de 430, incluindo startups, pequenas, médias e grandes empresas, instituições acadêmicas
Apoio financeiro do Governo Francês	Sim, incluindo suporte financeiro através de fundos como o " <i>Programme d'Investissement d'Avenir</i> " e o plano "France 2030"
Investimentos Governamentais	Não informado

Fonte: O autor

Nota: Os investimentos governamentais não foram informados, entretanto, o governo francês anunciou o investimento de €1 bilhão do plano "France 2030" para apoiar projetos nucleares e *startups* de tecnologia nuclear que, certamente, grande parte desses valores irão para as empresas associadas ao *Nuclear Valley*.

Desta forma, todas essas ações evidenciam a importância do *cluster Nuclear Valley* para o fortalecimento de empresas estratégicas vinculadas ao ciclo do combustível nuclear francês. Ao agrupar todas essas empresas, o

³⁰ Dual – O termo dual refere-se a tecnologias utilizadas tanto fins militares, quanto para fins civis.

³¹ A empresa francesa *Naval Group* é uma das responsáveis pela construção dos submarinos de propulsão nuclear da França.

cluster fortalece a base industrial da França, catalisando projetos de inovação e de desenvolvimento tecnológico para todas as fases do ciclo do combustível nuclear, com fortalecimento da BID francesa, com projeção mundial e, principalmente, para a Europa (EUROPE, 2024). A tabela 12 apresenta um resumo das principais características identificadas no *Cluster Tecnológico Nuclear Valley*.

4.4 PERSPECTIVAS FUTURAS E *INSIGHTS* IDENTIFICADOS

De acordo com a Agência Internacional de Energia (IEA), a energia nuclear terá um papel fundamental na transição energética global para a redução da emissão de carbono até 2050 (IEA, 2022; e WNN, 2023). Durante a reunião da COP28, mais de 20 países reconheceram a importância da energia nuclear para atingimento dessas metas e apoiaram a necessidade de triplicar a capacidade global na matriz energética mundial até 2050 (ENERGY, 2023).

Nesse contexto, as ações do governo e das empresas francesas vinculadas ao *Nuclear Valley*, que visam sustentar e expandir as atividades do ciclo do combustível nuclear, estão alinhadas com as futuras demandas local daquele país, bem como às demandas em nível internacional.

Os investimentos realizados nos últimos anos em CT&I e nas diversas instalações são evidências claras de que a França vem aumentando a sua capacidade de produção dos diversos produtos atrelados ao ciclo do combustível nuclear. Muitas *joint ventures* realizadas, a exemplo do que foi feita com a ORANO e a ETC, fazem com que os esforços tecnológicos sejam somados e os resultados otimizados.

Do ponto de vista econômico, os valores das receitas das empresas ORANO, FRAMATOME e ANDRA, superaram os €9 bilhões em 2023, sendo que grande parte desses valores são oriundos do ciclo do combustível nuclear, com tendência de aumento para 2024.

Os avanços tecnológicos alcançados pelas empresas francesas indicam que as perspectivas futuras para o ciclo do combustível nuclear francês são positivas e com tendência de expansão, a exemplo do que vem ocorrendo em sua planta de enriquecimento de urânio Georges Besse II.

Todos esses avanços e resultados refletem positivamente na BID francesa, visto que o ecossistema vinculado à indústria, governo, centros de

pesquisas, por meio do *Cluster Nuclear Valley*, por meio do conceito do Tríplice Hélice, promove uma tecnologia autóctone³² nessa área estratégica, fomentando a competitividade global das empresas francesas no setor de defesa, como é o caso da empresa *Naval Group*.

³² Autóctone – No contexto desta tese, o termo autóctone está relacionado a uma tecnologia própria e totalmente soberana, com total independência de outros países.

5 COMPARAÇÃO E APLICAÇÃO DE *INSIGHTS* DO CLUSTER AEROESPACIAL BRASILEIRO, DA EMBRAER E DO *NUCLEAR VALLEY* FRANCÊS NO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR BRASILEIRO

5.1 INTRODUÇÃO

Nos capítulos anteriores, foram analisados aspectos do CAB, impulsionado pela EMBRAER, e do Cluster *Nuclear Valley* francês, impulsionados pelas empresas ORANO, FRAMATOME e ANDRA, cada um com suas particularidades em termos de incentivos financeiros do governo, inovação e competitividade.

O presente capítulo tem como objetivo comparar e confrontar os *insights* observados nessas empresas e nos *clusters* estudados, com a finalidade de identificar práticas bem-sucedidas, baseado nesses estudos de casos, que podem ser aplicados para o ciclo do combustível nuclear brasileiro.

Espera-se que, ao final do capítulo, sejam evidenciadas as estratégias e práticas que podem ser implementadas para o caso brasileiro, destacando as oportunidades e desafios para o Brasil se tornar um ator significativo no mercado internacional nas diversas fases do ciclo do combustível nuclear. Os resultados apresentados neste capítulo visam demonstrar que, com investimentos adequados e um planejamento estratégico governamental, o ciclo do combustível nuclear brasileiro tem o potencial de alcançar receitas similares aos da EMBRAER atualmente, com geração de empregos e fomento à indústria nacional. Antecipa-se, ainda, potenciais reflexos positivos para a MB, que, por possuir tecnologia autóctone nas fases do ciclo do combustível nuclear e considerável capacidade organizacional para gestão de programas de envergadura, pode vir a assumir um papel de acelerador do processo, com atuação similar à que teve a FAB no que diz respeito ao desenvolvimento aeroespacial do Brasil.

Para isso, inicialmente será realizada uma abordagem do ciclo do combustível nuclear brasileiro, explorando os atores envolvidos, os valores financeiros, as quantidades de produção por fase, bem como os desafios e oportunidades específicas enfrentados pelo setor. Posteriormente, serão apresentados os *insights* identificados para os casos de estudos no CAB, EMBRAER, *Cluster Nuclear Valley* e o ciclo do combustível nuclear francês.

Adicionalmente, será identificada a área geográfica das principais atividades vinculadas a essa atividade, visando a implantação de um futuro *Cluster Tecnológico Nuclear Brasileiro*.

5.2 O CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR BRASILEIRO

Diferentemente do caso francês, o ciclo do combustível nuclear brasileiro não faz uso do reprocessamento e, portanto, é considerado um ciclo aberto, conforme descrito na seção 2.3.4, sendo composto pelas fases da mineração, conversão, enriquecimento, reconversão e fabricação dos EC que, posteriormente, serão instalados nos reatores nucleares.

De acordo com a Lei 6.189/1974 (BRASIL, 1974), a União detém o monopólio das atividades nucleares, abrangendo a lavra e a comercialização de minérios nucleares nas suas diversas fases e formas. A Indústria Nucleares do Brasil (INB) foi criada pelo Decreto nº 95.722, de 19 de fevereiro de 1988, que a instituiu como empresa pública, conforme regulamentação da Lei nº 6.189/1974, que já previa a necessidade de uma empresa para realizar essas atividades vinculadas ao minério de urânio. Assim, foi estabelecido que a INB é responsável pela execução de todas as etapas da cadeia produtiva do urânio, sob supervisão da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), o que constituiu a base jurídica que autoriza e regula a atuação da INB para a comercialização de urânio no Brasil e no exterior. Com isso, a INB ficou como responsável por todo o ciclo do combustível nuclear, sob o ponto de vista de comercialização, desde a mineração até a produção de elementos combustíveis.

Com a criação da INB, foram consolidadas as empresas da Nuclebrás e, atualmente, a empresa desempenha um importante papel na produção de energia nuclear no Brasil, abastecendo as usinas Angra 1 e Angra 2 e operando várias instalações estratégicas vinculadas ao ciclo do combustível nuclear (INB, 2024a).

A partir de novembro de 2022, a INB passou a ser uma empresa estatal não dependente. Isso significa que a empresa deixou de depender de recursos do Tesouro Nacional para suas despesas de pessoal e custeio, passando a se financiar integralmente com suas próprias receitas. Essa mudança ocorreu

após a reestruturação acionária, que transferiu o controle da INB para a Empresa Brasileira de Participações em Energia Nuclear e Binacional (ENBPar), de acordo com o Decreto Lei Nº 11.235/2022 (BRASIL, 2022a). Atualmente, em termos de composição acionária, a INB é controlada majoritariamente pela ENBPar, que detém 99,9985% das ações ordinárias e preferenciais, enquanto pessoas jurídicas de direito público interno possuem 0,0015% (INB, 2024b). As vantagens dessa mudança incluem maior autonomia financeira, o que permite à INB planejar e executar suas atividades sem as incertezas associadas à dependência do orçamento federal, viabilizando a implementação de ações estratégicas a longo prazo. Por outro lado, como estatal não dependente, a INB pode estar mais exposta às flutuações do mercado e, portanto, necessita manter o seu fluxo de caixa positivo e sempre em condições de ser empregado em qualquer imprevisto que impacte as receitas ou o aumento dos custos. Adicionalmente, ainda em dezembro de 2022, a INB foi credenciada como Empresa Estratégica de Defesa (EED), através da Portaria GM-MD nº 5.893, publicada no Diário Oficial da União, ingressando o grupo de 137 empresas e fornecedores de bens e serviços para a área de defesa do país, sendo considerada uma empresa estratégica e de alta complexidade tecnológica.

No que tange aos aspectos tecnológicos, é importante ressaltar que cada fase do ciclo do combustível nuclear possui as suas especificidades e segredos industriais inerentes, sendo os desafios de CT&I constantes e as tecnologias envolvidas em todos os processos consideradas informações sensíveis e com divulgação bastante restrita.

Por essa razão, apesar da INB ser a responsável pela comercialização dos produtos oriundos do ciclo do combustível nuclear brasileiro, existem diversos atores que participam direta ou indireta em cada fase, destacando-se a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), diversas universidades e a MB.

A MB, por meio do Centro Tecnológico da Marinha em São Paulo (CTMSP) e suas Organizações Militares (OM) subordinadas e, em parceria com o IPEN, desenvolveu a tecnologia de ultracentrifugação, considerada a fase de maior complexidade e de maior valor agregado, sob o ponto de vista tecnológico. Com isso, por meio de contratos específicos com a MB, foram

instaladas cascatas de enriquecimento isotópico na INB (MB, 2022), aumentando a independência do Brasil nessa fase do ciclo.

Paralelamente, o CTMSP desenvolveu, em escala laboratorial, a tecnologia para a fase da conversão do *yellow-cake* (U₃O₈) para hexafluoreto de urânio (UF₆). Atualmente, a planta para produção em escala industrial está na fase final de construção e homologação nas instalações da MB e visam, exclusivamente, atender as demandas PNM (FGV, 2019).

Vale destacar que, em que pese o Brasil detenha a tecnologia de todas as fases do ciclo e possua grandes reservas de urânio em seu território, de acordo com os relatórios de gestão dos anos 2020 a 2023 (INB, 2021, 2022, 2023 e 2024b), a INB continua dependente da importação de urânio natural (*yellow cake* – U₃O₈), do hexafluoreto de urânio (UF₆) e do urânio enriquecido. Essa dependência se dá em função da Instituição, por falta de investimentos governamentais, não possuir a instalação de conversão (fase 2 – responsável pela produção do UF₆) e as cascatas de ultracentrífugas instaladas não atenderem a totalidade da demanda de Angra 1 e Angra 2 (FGV, 2019). Ademais, mesmo na mineração, ainda existe uma produção de *yellow-cake* (U₃O₈) menor do que a demanda.

Esse desbalanço negativo na fase da mineração deve ser sanado com a entrada em produção da mineração de urânio na cidade de Santa Quitéria (CE), prevista para 2026 (CNEN, 2024). Um dos balizamentos jurídicos que visa otimizar e atrair investimentos privados na fase da mineração foi por meio da flexibilização do monopólio do urânio, estabelecido pela Lei nº 14.514, de 29 de dezembro de 2022 (BRASIL, 2022b), que permitiu à INB ampliar suas parcerias para a lavra e a comercialização de outros minérios atrelados aos nucleares. Com isso, empresas privadas podem agora participar da mineração, retirando os outros minérios agregados para comercialização e entregando o urânio, na forma de U₃O₈, para a INB.

A tabela 13 mostra a demanda para cada fase do ciclo do combustível nuclear brasileiro com a capacidade atual de produção da INB, onde foram computadas as informações obtidas em seus relatórios anuais de gestão, disponibilizados em seu site (INB, 2024b), bem como as informações obtidas na apresentação da INB, proferida por Silva (2023, p. 36).

Tabela 13 – Demanda para as fases do ciclo do combustível brasileiro versus a produção anual da INB

Fases do ciclo	Local	Demanda anual ³³	Capacidade anual
1. Mineração	Caetité (BA)	400 t U em U ₃ O ₈	200 t U em U ₃ O ₈
2. Conversão para UF ₆	Não existe ³⁴	390 t U em UF ₆	Não faz
3. Enriquecimento	Resende (RJ)	280 t UTS	70 t UTS
4. Reconversão para pastilhas	Resende (RJ)	45 t U em UO ₂	120 t U em UO ₂
5. Fabricação do EC	Resende (RJ)	100 unidades	500 unidades

Fonte: Relatório de Gestão da INB de 2023 (INB, 2024b) e Silva (2023, slide 36)

Nota: Dados compilados pelo autor.

Para suprir a demanda anual dos produtos das fases do ciclo do combustível para a mineração, conversão para UF₆ e o enriquecimento isotópico, necessários para a produção dos elementos combustíveis, a INB necessita importar esses produtos. Especificamente, devido à ausência de capacidade instalada no Brasil para essas etapas, a INB realiza contratos com empresas estrangeiras para os serviços de conversão e enriquecimento de urânio, participando de licitações internacionais para complementação das necessidades de urânio em suas várias formas.

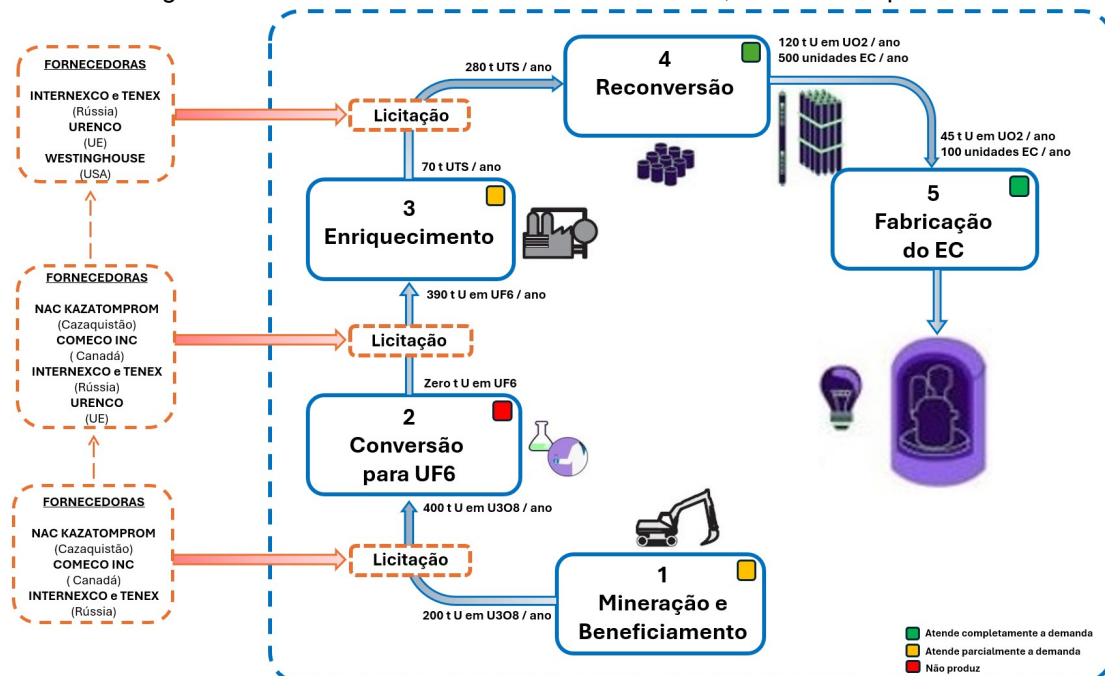
Na figura 8, são apresentadas as fases do ciclo do combustível nuclear conduzidas pela INB, com suas respectivas capacidades produtivas e demandas necessárias. Conforme já apresentado, a capacidade instalada para as fases de mineração, conversão e enriquecimento não é suficiente para atender as demandas atuais, o que requer a realização de licitações internacionais com empresas estrangeiras, como INTERNEXCO (russa), TENEX (russa), COMECO (canadense), WESTINGHOUSE (americana), entre outras (ABDAN, 2023; CNEN, 2020; PETRO, 2024). Algumas licitações preveem que a empresa vencedora de uma fase do ciclo forneça diretamente seus produtos às empresas vencedoras da fase subsequente, sem que o produto seja entregue para a INB, conforme representado pelas setas de interligação entre as empresas fornecedoras mostradas na referida figura. As etapas de reconversão e fabricação dos elementos combustíveis, realizadas

³³ Demanda atual, considerando o fornecimento para Angra 1 e Angra 2. Com a entrada em operação de Angra 3, as demandas anuais devem aumentar.

³⁴ Vale destacar que a MB tem a tecnologia para a fase de conversão de *yellow cake* para UF₆, restando a homologação do processo em escala industrial para as necessidades do PNM, que são quantidades inferiores às demandas da INB.

pela INB, possuem capacidade excedente³⁵, o que permite atender plenamente a atual demanda nacional.

Figura 8 – Ciclo do combustível nuclear brasileiro, coordenado pela INB



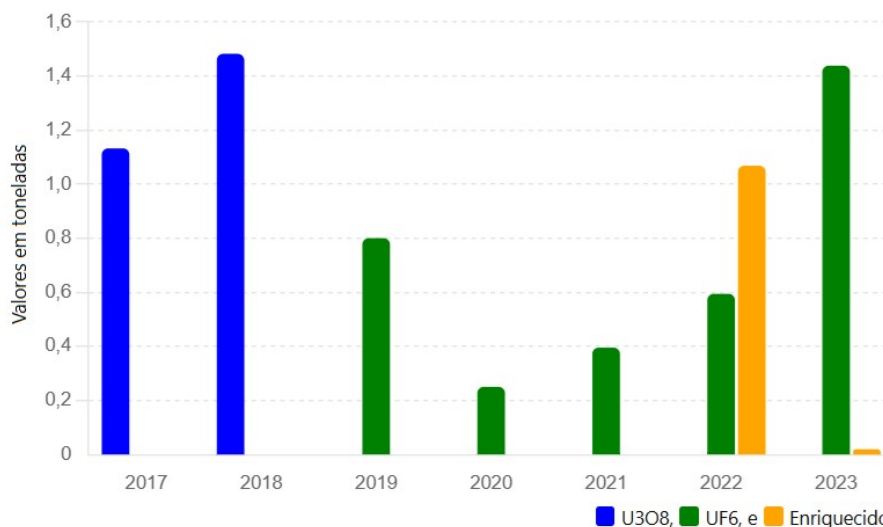
Fonte: Autor, com os dados provenientes do Relatório de Gestão da INB de 2023 (INB, 2024b) e Silva (2023, p. 36).

Desta forma, para garantir o abastecimento contínuo, a INB mantém um planejamento estratégico que inclui a expansão de suas capacidades internas e a nacionalização gradual das fases do ciclo do combustível nuclear. Projetos como o de Santa Quitéria visam aumentar a produção interna de urânio natural (CNEN, 2024), enquanto parcerias com a MB buscam ampliar a capacidade de enriquecimento isotópico de urânio no país (MB, 2022, 2020).

Visando analisar os valores e as quantidades de urânio na forma de U3O8, UF6 e urânio enriquecido, que foram importados pelo Brasil nos últimos sete anos, foram consultados os dados fornecidos pelo site da INB (INB, 2024c). Nesse contexto, foram obtidas as informações contidas nos gráficos 3 e 4, que mostram as quantidades e os valores deflacionados que a INB contratou nesse período.

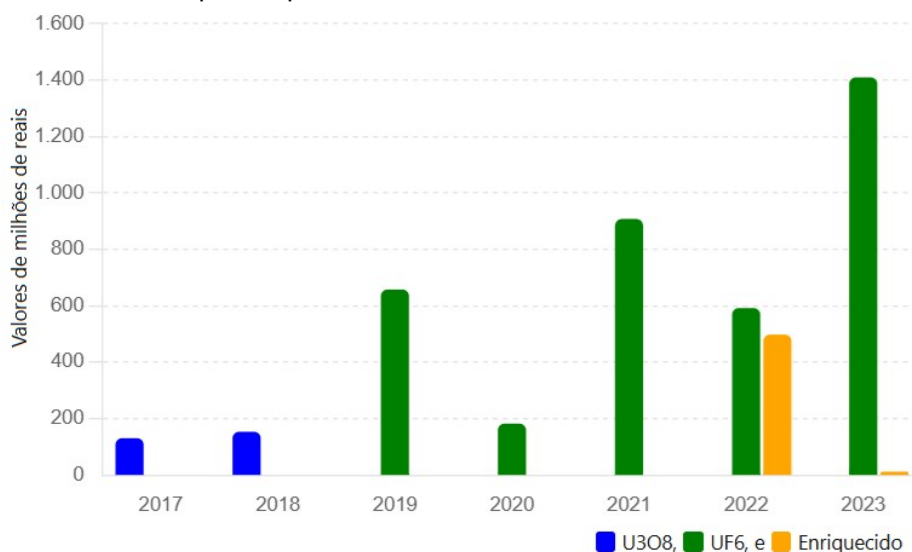
³⁵ Não estão sendo consideradas as futuras demandas para Angra 3.

Gráfico 3 – Quantidade de U3O8, UF6 e urânio enriquecido importados pela INB, nos últimos sete anos.



Fonte: Autor, com os dados provenientes do Relatório de Gestão da INB de 2023 (INB, 2024c).

Gráfico 4 – Valores deflacionados das licitações realizadas pela INB, nos últimos sete anos, para suprir as demandas necessárias



Fonte: Autor, com os dados provenientes do Relatório de Gestão da INB de 2023 (INB, 2024c).

Como é possível ser observado nos gráficos apresentados, o fluxo de compras externas de urânio para suprir as demandas da INB não foram contínuos. Entretanto, de acordo com as informações levantadas nesta pesquisa, a INB desembolsou aproximadamente R\$ 4.5 bilhões (valores deflacionados até dezembro de 2023), nas compras de U3O8 (*yellow cake*), UF6 e urânio enriquecido, considerando o período de 2017 a 2023. Desse

montante, 6.2% foram referentes ao U3O8, 82.5% para o UF6 e 11% para o urânio enriquecido.

Dessa forma, considerando o período em questão, os valores mais relevantes estão nas contratações/licitações para a obtenção do UF6 (82.5%, cerca de R\$ 3.7 bilhões), ou seja, na fase da conversão. Conforme já comentado anteriormente, a INB não possui instalação e nem tecnologia para a implantação da fase de conversão e, se nada for feito para mitigar essa dependência estrangeira, a INB poderá desembolsar valores similares a R\$ 3.7 bilhões, considerando a janela temporal futura de mais sete anos. O mesmo poderá ocorrer para a fase do enriquecimento, que representou 11% (R\$ 509 milhões).

Um ponto importante constatado foi referente às importações de U3O8, que representou cerca de 6,2% (R\$ 283 milhões – valores deflacionados). Isso significa que, mesmo com a entrada em operação da mineração em Santa Quitéria, prevista para 2026 (CNEN, 2024), os valores economizados nas futuras importações estrangeiras serão de menor impacto se comparados com as importações de UF6 ou de urânio enriquecido. Vale destacar que MB desenvolveu a tecnologia para a fase da conversão e do enriquecimento, onde a INB planeja implantar a etapa de conversão em sua unidade em Resende (RJ) (PETRO, 2024).

De acordo com Silva (2023, p. 35 - 42) a INB tem a intenção de participar do mercado internacional do ciclo do combustível nuclear, sendo a fase inicial focada no atendimento das demandas internas e, posteriormente, para atendimento de novos empreendimentos de geração nucleoeletrico, como por exemplo os *Small Module Reactors*³⁶ (SMR) e o Reator Multipropósito Brasileiro³⁷ (RMB). Para isso, a INB pretende instalar uma Usina de Conversão

³⁶ Os reatores modulares pequenos (SMRs) são unidades nucleares compactas, projetadas para reduzir os custos de construção e simplificar o processo de licenciamento em relação às grandes usinas nucleares. Sua portabilidade permite que sejam transportados e instalados em áreas remotas, como a região norte do Brasil, onde podem atender a demanda de energia elétrica em locais afastados dos principais centros de geração e distribuição. Por essa razão, a demanda mundial pelos SMR vem aumentando nos últimos anos (AMAZUL, 2023).

³⁷ O Reator Multipropósito Brasileiro (RMB) está sendo desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) e será instalado nas proximidades de ARAMAR, em Iperó, São Paulo. O RMB atenderá a diversas necessidades em pesquisa, medicina, indústria e agricultura, fortalecendo a capacidade tecnológica e científica do Brasil na área nuclear (IPEN, 2020).

de U3O8 para UF6, denominada USICON (Silva, 2023). Nesse sentido, a INB anunciou que existe uma expectativa de novos negócios que poderão gerar receitas de cerca de R\$ 70 bilhões, ao longo dos próximos 15 anos (INB, 2024d).

Ainda referente às quantidades de urânio importados pela INB nos últimos sete anos, a variação pode estar relacionada com as paradas programadas das usinas de Angra 1 e 2, visando a troca dos Elementos Combustíveis dos núcleos dos reatores nucleoeletrônicos. Além disso, a produção nacional de urânio e a manutenção de estoques estratégicos podem reduzir a necessidade de importações contínuas. Possíveis instabilidades geopolíticas, como os conflitos na Ucrânia e na Rússia, também podem interferir na oferta de urânio no mercado internacional, assim como nos preços praticados. Entretanto, de modo a pautar os *insights* e oportunidades de melhorias do ciclo do combustível nuclear brasileiro, os dados levantados foram considerados suficientes para o objetivo proposto na tese, uma vez que o propósito foi verificar as quantidades e as estimativas de valores que a INB negociou nos últimos anos.

Uma outra vertente desta pesquisa foi referente ao desempenho da INB apresentados nos seus relatórios administrativos e financeiros dos últimos quatro anos. Nesse período considerado, a INB apresentou um acréscimo em suas receitas a partir de 2021, conforme apresentado na tabela 14. Houve um aumento de cerca de 22% em suas receitas do ano de 2022 para 2023 e, em 2023 apresentou cerca de R\$ 1,00 bilhão em *backlog*.

Tabela 14 – Principais valores financeiros da INB nos últimos 4 anos

Ano	Receita em bilhões de Reais	Receitas futuras em bilhões de Reais (Backlog)	Fluxo líquido de caixa em milhões de Reais	Dívida Líquida em milhões de Reais
2020	R\$ 1,05	R\$ 0,53	€ 335,10	não informado
2021	R\$ 0,73	não informado	€ 16,43	não informado
2022	R\$ 0,80	não informado	€ 74,60	não informado
2023	R\$ 1,03	R\$ 1,43	€ 70,20	- R\$ 277,84

Fonte: Relatórios Administrativos da INB - 2020 a 2023 (INB, 2021, 2022, 2023, 2024b)

Nota: Dados compilados pelo autor.

Desta forma, ao considerar as receitas, os valores dos contratos futuros (*backlog*), o fluxo de caixa e a redução da dívida líquida, se observa que a INB

apresenta uma perspectiva positiva para a continuidade das operações e investimentos em novos empreendimentos. Esses avanços apresentam considerável potencial para mitigar a dependência estrangeira nas fases de mineração, reconversão e enriquecimento, criando possibilidades de investimentos nas infraestruturas necessárias para aumentar a produção no ciclo do combustível.

5.3 COMPARAÇÃO DE *INSIGHTS* E POSSIBILIDADES DE UTILIZAÇÃO NO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR BRASILEIRO

Após a análise das etapas do ciclo do combustível nuclear brasileiro, essa seção abordará os *insights* identificados no CAB, tendo a EMBRAER como empresa âncora, e no *Nuclear Valley* francês, tendo as empresas âncoras ORANO, FRAMATOME e ANDRA.

Nesse contexto, foi identificado que tanto o CAB quanto o *Nuclear Valley* se beneficiam de incentivos governamentais e parcerias estratégicas e, com isso, foram capazes de criar um ecossistema de inovação, com foco nos mercados nacionais e internacionais, promovendo avanços tecnológicos expressivos e fortalecendo suas respectivas bases industriais.

Outro ponto interessante observado é que as empresas brasileiras que homologam seus produtos ou equipamentos conforme as normas aeronáuticas ou aeroespaciais, por meio do Convênio ICMS nº 75/91, são cadastradas no Sistema Integrado de Fomento à Indústria Aeroespacial (SIFIAer) (FAB, 2021), recebendo uma redução nas alíquotas de ICMS de 4% (IFI, 2024). Esse incentivo tem sido empregado, historicamente, para fomentar e motivar as indústrias a homologarem seus produtos para o mercado nacional, resultando no aprimoramento de suas ofertas para o mercado internacional. De acordo com a apresentação institucional do IFI (2022, p. 33 - 34), são aproximadamente 1.200 empresas que atuam no setor aeroespacial brasileiro e que possuem redução do ICMS para 4%, sendo muitas delas credenciadas no Sistema de Cadastramento de Produtos e Empresas de Defesa (SISCAPED), sendo consideradas Empresas Estratégicas de Defesa (EED). Dessa forma, o cadastramento inicial no SIFIAer, com redução do ICMS, serve

como prospector de futuras empresa estratégicas para a BID do setor aeroespacial.

Desse modo, oferecer incentivos fiscais semelhantes para o setor nuclear poderia motivar a produção local, aumentando a competitividade das empresas nacionais e promover o desenvolvimento de tecnologias avançadas nessa área, fortalecendo a base industrial do ciclo do combustível nuclear no Brasil, de forma a suprir as demandas internas e possibilitando a atuação no mercado internacional. Além disso, as rígidas normas na área nuclear, com custos elevados para homologação e certificação, tendem a tornar esse tipo de incentivo fundamental para viabilizar a competitividade das empresas nacionais.

Um outro aspecto identificado nas pesquisas foi em relação aos *royalties* que a FAB vem recebendo provenientes de patentes, projetos e tecnologias desenvolvidas, o que acaba incrementando os investimentos em ciência e tecnologia nas suas OM classificadas como ICT. Esses recursos adicionais, muitos deles provenientes das vendas de aviões militares pela EMBRAER, tem permitido à FAB aprimorar suas capacidades de pesquisa e desenvolvimento, fomentando a inovação e o avanço tecnológico e, assim, gerando uma retroalimentação financeira no ecossistema capitaneado pelo DCTA, CAB e empresas envolvidas.

Referente aos valores financeiros considerados, foi constatado que as receitas das empresas brasileiras do setor aeroespacial alcançam bilhões de dólares anualmente, refletindo seu sucesso e impacto no mercado global. Por exemplo, a EMBRAER registrou uma receita de aproximadamente US\$ 5.3 bilhões em 2023. Paralelamente, as empresas francesas do ciclo do combustível nuclear, como ORANO, FRAMATOME e ANDRA, possuem juntas receitas superiores a € 9.5 bilhões.

A INB, embora atualmente com receitas menores, tem condições de alcançar valores similares as dessas grandes empresas, por meio de um planejamento estratégico a médio e longo prazo. Nos últimos sete anos, a INB desembolsou aproximadamente R\$ 4,5 bilhões devido à carência de algumas instalações no ciclo do combustível nuclear. Para mitigar esses custos futuros, a INB poderia estabelecer uma parceria com a MB para transferência de tecnologia na área da conversão, de modo a viabilizar tecnicamente a

USICON, Silva (2023, p. 42). Essa parceria entre a INB e MB poderia seguir os princípios identificados no caso da FAB e da EMBRAER, onde a MB receberia *royalties* da INB em função das vendas do UF6.

No que tange à viabilidade dos recursos financeiros necessários, uma parte significativa poderia ser proveniente da venda de urânio U3O8 oriundo de Santa Quitéria, além de investimentos do governo federal por meio do Fundo Nacional de Desenvolvimento de Ciência e Tecnologia³⁸ (FNDCT), na forma não reembolsável. A utilização do FNDCT da forma não reembolsável, também conhecida como fundo perdido³⁹, parece ser interessante para o governo porque os resultados esperados tendem a incluir a geração de empregos, retenção de talentos na área nuclear, aumento das receitas fiscais via impostos e o fortalecimento do desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil, justificando o investimento governamental na INB, já classificada como uma EED. Caso os recursos financeiros sejam oriundos somente das receitas produzidas pela mineração em Santa Quitéria, é esperado que haja um lapso temporal de início das tratativas de instalação da USICON, visto que essa mineração tem previsão para ser realizada somente em 2026. Nesse sentido, um investimento pelo FNDCT poderia ser uma solução para viabilizar, a curto prazo, a instalação da USICON pela INB.

Com base nas pesquisas realizadas até aqui, foi possível elaborar um resumo estratégico e propor fases para o aumento da capacidade produtiva do ciclo do combustível nuclear brasileiro, conforme detalhadas a seguir:

- Fase da Mineração (U3O8): Com a Lei nº 14.514, de 29 de dezembro de 2022, que flexibiliza o monopólio do urânio, é viável estabelecer parcerias com empresas privadas, incluindo internacionais, para ampliar a produção de urânio natural. A exploração da mina de Santa Quitéria

³⁸ O FNDCT é um fundo brasileiro que financia pesquisa e inovação, administrado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), que distribui recursos para alavancar a ciência e tecnologia no país. Essa colaboração apoia desde estudos básicos até o desenvolvimento tecnológico aplicado, fortalecendo o sistema nacional de inovação e, portanto, tendo total aderência ao aporte financeiro para a USICON e ampliação das instalações de enriquecimento isotópico.

³⁹ Refere-se a uma modalidade de financiamento onde os recursos são concedidos sem a exigência de reembolso por parte do beneficiário.

(CE) pode ser uma fonte de receita para novas instalações, consolidando a base do ciclo;

- Fase da Conversão (UF6): Iniciar negociações com a FNDCT para obter recursos não reembolsáveis, destacando a viabilidade e os benefícios estratégicos desse empreendimento. Uma vez que a MB homologue sua planta de conversão em escala industrial, deve-se avançar nas tratativas para formar uma parceria ou estabelecer um contrato que permita o aproveitamento da infraestrutura da MB, ou a tecnologia para a implementação da USICON na INB. Essa ação posicionaria a INB como um *player* internacional, capacitando-a na geração de receitas significativas, similares ao modelo do Cazaquistão. Os lucros dessa operação seriam utilizados para financiar a expansão de outras etapas do ciclo, especialmente a complexa fase do enriquecimento isotópico, considerada a de maior complexidade tecnológica.
- Fase do Enriquecimento Isotópico: Utilizando a tecnologia de separação isotópica produzida pela MB, expandir a quantidade de cascatas de ultracentrífugas, visando atender a totalidade da demanda interna e preparar a base para futuras exportações. Os recursos financeiros para essa expansão podem ser financiados pelas fases anteriores ou por meio do FNDCT.
- Fase da Reconversão e Fabricação de Elementos Combustíveis: No médio prazo⁴⁰, deve-se planejar a ampliação da produção de pastilhas de UO₂ e de fabricação de elementos combustíveis, de modo a garantir que a produção atenda as futuras demandas para os SMR, focando também o mercado exterior.

Essas etapas não apenas aumentariam a autonomia e a capacidade produtiva nacional no setor nuclear, mas também fortaleceriam a INB para se tornar um *player* de destaque no mercado global de energia nuclear.

⁴⁰ Médio Prazo está sendo referenciado nesta tese como um período não inferior a 7 anos, visto que os recursos oriundos da mineração em Santa Quitéria somente serão iniciados a partir de 2026. Quanto a venda de UF₆ para o mercado internacional, somente poderá ocorrer com a instalação da USICON, que ainda está em fase de prospecção e análise.

5.4 POTENCIAL ÁREA PARA UM *CLUSTER* TECNOLÓGICO NUCLEAR BRASILEIRO

Assim como ocorreu no setor aeroespacial brasileiro e no setor nuclear francês, a criação de um ecossistema favorável, por meio dos *clusters* analisados, aumentou a sinergia e a competitividade das empresas envolvidas no desenvolvimento científico e tecnológico de cada área.

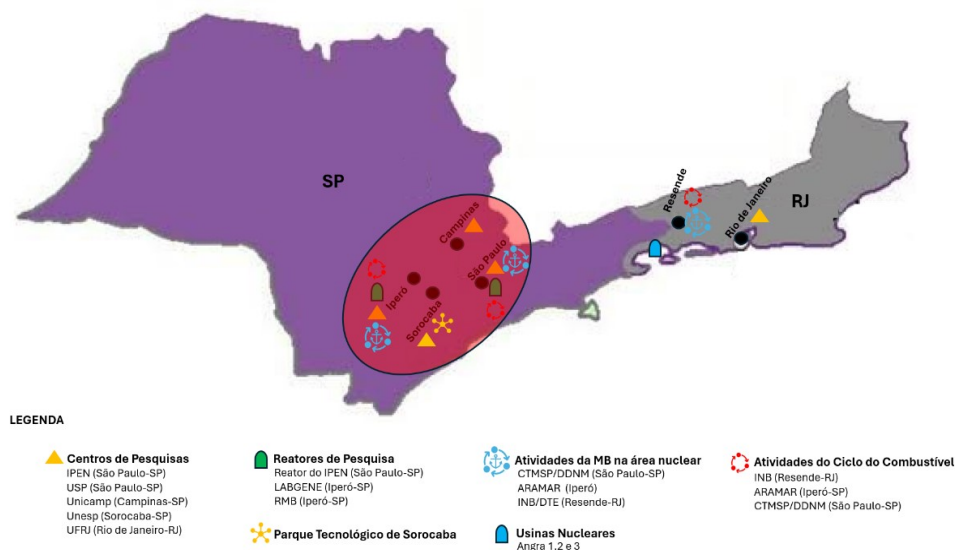
Como foi verificado, a criação do CAB e do *Nuclear Valley* partiram de iniciativas *top-down*, ou seja, iniciativas governamentais e com grande apoio de empresas âncoras, que de maneiras diretas e indiretas usufruem de todos esses desenvolvimentos motivados pelos ecossistemas criados.

Vale destacar, ainda, que o CAB e o *Nuclear Valley* francês foram criados com foco em tecnologias que o país já vinha desenvolvendo há muitos anos, aproveitando o conhecimento acumulado e as infraestruturas tecnológicas já estabelecidas. No Brasil, o CAB se beneficiou de mais de 50 anos de desenvolvimento aeroespacial, enquanto na França, o *Nuclear Valley* se baseou em mais de 60 anos de avanços na tecnologia nuclear, permitindo que ambos os *clusters* se consolidassem como ecossistemas de inovação e competitividade.

Nesse contexto, para o caso do ciclo do combustível nuclear brasileiro, que conta com desenvolvimento e conquistas tecnológicas ao longo de mais de 40 anos, a criação de um *Cluster* Tecnológico Nuclear, por meio de uma abordagem *top-down*, pode ser um caminho viável e natural, assim como ocorreu nos casos estudados. Esta iniciativa aproveita a expertise e as infraestruturas já existentes para fortalecer a base industrial e tecnológica do setor.

Visando analisar essa possibilidade, as buscas realizadas nesta pesquisa identificaram as principais instituições envolvidas em pesquisas na área nuclear, conforme apresentada na figura 9.

Figura 9 – Principais instituições envolvidas direta ou indiretamente no ciclo do combustível nuclear brasileiro, coordenado pela INB



Fonte: Autor.

Como pode ser observado, em função dos desenvolvimentos tecnológicos na área nuclear serem conduzidos principalmente pela MB, IPEN e universidades, o Estado de São Paulo é o que mais possui instituições envolvidas direta ou indiretamente em projetos de pesquisa que aderem aos desafios do ciclo do combustível nuclear brasileiro, apesar da INB estar localizada no Estado do Rio de Janeiro.

Considerando ainda o polígono formado pelas cidades de São Paulo (SP), Campinas (SP), Sorocaba (SP) e Iperó (SP), verifica-se que as instalações da MB, que atuam na área nuclear, estão concentradas nessa região, além das principais universidades brasileiras e centros/institutos de pesquisa envolvidos no setor. Adicionalmente, as localizações dos reatores de pesquisa em operação ou em fase de construção, como é o caso do Reator RMB e do Laboratório de Geração de Energia Nucleoelétrica (LABGENE), também estão contidas nesse polígono.

Nesse sentido, em função da concentração de instituições e infraestruturas relevantes nessa região, assim como aconteceu no Parque Tecnológico de São José do Campos, o Parque Tecnológico de Sorocaba⁴¹ (PTS), situado dentro desse polígono, apresenta-se como uma localização candidata para a instalação do *cluster* tecnológico nuclear regional. A

⁴¹ www.parquetecsorocaba.com.br (Acesso em: 03 jul. 2024).

proximidade com as principais instituições de pesquisa e de desenvolvimento, a infraestrutura já existente e a possibilidade de sinergia entre as diversas entidades que compõem o ecossistema nuclear brasileiro são fatores que reforçam essa possibilidade. Recentemente, uma equipe da Diretoria-Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha (DGDNTM) realizou uma visita ao PTS com o propósito de possibilitar o contato com empresas de tecnologia e inovação com a MB, para que estas possam vir a colaborar para com os projetos nucleares do Brasil (MB, 2023).

De acordo com as informações obtidas em seu site e em seu vídeo institucional (PTS, 2022; 2024), o PTS foi inaugurado em 2012 e possui cerca de 1.8 milhões de metros quadrados, onde são mantidos laboratórios, centros de pesquisas, empresas, *startups* e áreas para expansão. Atualmente, abriga mais de 40 empresas e coordena programas com cerca de 30 *startups* e 10 instituições de ensino superior. As empresas instaladas no PTS recebem incentivos fiscais, como a isenção de tributos municipais e concessão de uso das áreas externas por 50 anos. Paralelamente, a Diretoria do PTS gerencia APL que conectam 10 municípios e mais 900 empresas (PTS, 2022).

Portanto, a criação de um *Cluster* Tecnológico Nuclear no Parque Tecnológico de Sorocaba se baseia em uma combinação de fatores estratégicos que incluem a proximidade de importantes atores do setor nuclear, além das principais universidades e centros de pesquisa, bem como a existência de uma infraestrutura que favorece a colaboração e inovação tecnológica. Esses elementos juntos proporcionam um ambiente propício para o fortalecimento da base industrial e tecnológica do ciclo do combustível nuclear no Brasil, a exemplo do que aconteceu em São José dos Campos (SP), para o caso do setor aeroespacial brasileiro.

Os resultados analisados para os casos do *Nuclear Valley* e do CAB demonstraram que a criação de um *cluster* nuclear pode trazer inúmeros benefícios, incluindo a geração de empregos, retenção de talentos e fortalecimento do desenvolvimento científico e tecnológico no Brasil.

Além disso, a região pode se beneficiar de incentivos fiscais semelhantes aos concedidos ao setor aeroespacial, como a redução das alíquotas de ICMS e ISS para empresas que homologuem seus produtos conforme as normas nucleares. Esses incentivos tendem a auxiliar no fomento

da produção local, atrair investimentos e promover o desenvolvimento tecnológico necessário para suprir as demandas do mercado nacional e internacional.

6 CONCLUSÃO E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A pesquisa realizada conseguiu responder à questão central ao analisar como os *insights* identificados no ciclo do combustível nuclear francês e no CAB podem ser aplicados para otimizar o ciclo do combustível nuclear brasileiro e potencializar sua inserção no mercado internacional.

Um ponto interessante observado foi a característica dual dos produtos dos dois casos analisados. No caso do CAB, situado no Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos, as empresas atendem tanto o mercado nacional quanto o mercado internacional, visando às demandas de aviação civil e militar. No entanto, ficou evidenciado que o mercado civil é o principal gerador de receitas estáveis, garantindo a sustentabilidade econômica das empresas, como é o caso da EMBRAER. As parcerias estratégicas entre empresas, universidades e instituições de pesquisa foram fundamentais para impulsionar a inovação, aumentar a competitividade internacional e consolidar a posição do Brasil em um setor de alto valor tecnológico agregado. Os investimentos contínuos, tanto públicos quanto privados, juntamente com o suporte governamental, foram fundamentais para o desenvolvimento de novas tecnologias e a expansão do mercado global, demonstrando o sucesso do modelo de cooperação implementado pelo CAB e a sua relevância para a BID brasileira, na área aeroespacial. Um exemplo desses incentivos foi a adoção de redução do ICMS para empresas que atendem a normas específicas, identificada no caso do FAB como uma estratégia eficaz, que poderia ser aplicada também na área nuclear para empresas que atenderem as normas nucleares, incentivando ainda mais o desenvolvimento desse setor.

Um outro aspecto identificado foi que, por meio de recebimento de *royalties*, a FAB tem obtido aportes financeiros da EMBRAER e de outras empresas vinculadas ao CAB, os quais são direcionados às suas ICT, mantendo assim um ecossistema de pesquisa e inovação de produtos de defesa aeroespacial.

Adicionalmente, a análise do ciclo do combustível nuclear francês mostrou que é possível criar um ecossistema tecnológico nuclear com características duais, proporcionando às empresas envolvidas uma sustentabilidade econômica para atuarem tanto nas demandas internas, quanto

nas demandas externas. Com isso, a França vem garantindo a sua autonomia energética e, adicionalmente, se posicionando como líder global na exportação de tecnologia nuclear e dos produtos oriundos do seu ciclo do combustível nuclear, mesmo não tendo reservas naturais de urânio em seu território. Também foram identificadas que os estabelecimentos de *joint ventures* estratégicas, além dos incentivos governamentais, foram essenciais para garantir a inovação contínua nas tecnologias e processos industriais vinculados ao ciclo do combustível nuclear francês, aumentando o grau de maturidade das empresas envolvidas no *Cluster Nuclear Valley*, como é o caso da ORANO, FRAMATOME e ANDRA, e evitando que o *cluster* entre em declínio.

Para ambos os casos analisados, ficou evidenciada a importância de um ecossistema colaborativo e bem estruturado para o fortalecimento da indústria aeroespacial no Brasil e da indústria nuclear na França. Os resultados mostraram que as BID nessas áreas específicas foram fortalecidas e, consequentemente, desempenharam um importante papel na promoção da inovação tecnológica, no aumento da competitividade internacional e na garantia da soberania nacional, tanto no Brasil quanto na França, em suas respectivas áreas de atuação.

Para o caso do ciclo do combustível nuclear brasileiro, esta pesquisa evidenciou que o Brasil possui um grande potencial de se tornar um dos principais fornecedores dos produtos de cada fase, uma vez que possui a sétima maior reserva de urânio no mundo e, por meio da MB e outras instituições, detém a tecnologia autóctone de todas as fases.

Desse modo, assim como a FAB impulsionou o desenvolvimento aeroespacial, com influência direta na criação da EMBRAER e outras empresas do CAB, é possível que a MB atue como catalisadora no avanço do ciclo do combustível nuclear brasileiro, de modo a possibilitar que a INB aumente as suas atuais capacidades industriais e, assim, consiga atuar no mercado internacional.

A INB, por não possuir escala industrial suficiente de todas as fases do ciclo do combustível nuclear, necessita importar produtos do mercado internacional para atender as demandas internas para as Usinas Nucleares de Angra 1 e 2. Os levantamentos realizados nesta pesquisa mostraram que a INB desembolsou valores significativo, no período de 2017 a 2023, na compra de

urânio, nas mais variadas formas do ciclo do combustível nuclear, sendo que cerca de 82.5% foram para o UF₆ (fase da conversão) e cerca de 11% foram para o urânio enriquecido (fase do enriquecimento). O percentual elevado para a compra de UF₆ é justificado pelo fato de a INB não possuir atualmente instalações industriais para realizar a fase da conversão. Quanto à fase do enriquecimento, o percentual poderia ser maior, caso a INB não tivesse investido em instalação de cascatas de ultracentrífugas, com tecnologia desenvolvida pela MB.

As receitas anuais associadas ao mercado internacional de urânio podem ultrapassar US\$ 15 bilhões e apenas um seleto grupo de empresas e países detém as condições técnicas e reservas necessárias para competirem globalmente nesse setor.

Nesse contexto, a pesquisa evidenciou que a INB, em que pese tenha se tornado uma empresa não dependente a partir de 2022 e venha apresentando resultados significativos em suas receitas desde então, poderia alcançar o mercado internacional de maneira mais célere com aportes financeiros não reembolsáveis do governo federal, por meio do FNDCT. A justificativa para esses investimentos pelo governo federal baseia-se nos resultados esperados, que incluem a geração de empregos, a retenção de talentos na área nuclear, o aumento das receitas por meio de impostos, além do desenvolvimento científico e tecnológico no setor nuclear, conforme observado no CAB e no ciclo do combustível nuclear francês.

Adicionalmente, a pesquisa analisou a possibilidade de criação de um *cluster* tecnológico nuclear na região de Sorocaba, de modo a criar uma oportunidade estratégica, fomentando a integração entre empresas, universidades e instituições de pesquisa, e alavancando o desenvolvimento tecnológico e econômico do ciclo do combustível nuclear brasileiro que possui os principais atores naquela região.

Desta forma, ao longo desta pesquisa, foi evidenciado que o Brasil possui um potencial significativo para se destacar no cenário internacional como um *player* relevante no ciclo do combustível nuclear, podendo alcançar receitas similares as que a EMBRAER vem gerando nos últimos anos.

As conclusões apresentadas apontam para a necessidade de uma abordagem estratégica integrada, que sincronize as ações das diversas

instituições, com foco nas particularidades do ciclo do combustível nuclear, a fim de maximizar o potencial econômico e estratégico do Brasil nessa área vital.

Proposta para trabalhos futuros:

Devido à grande diversidade de assuntos tratados nesta pesquisa, várias são as propostas para trabalhos futuros. Algumas delas são:

- Estudo da viabilidade econômica para a expansão das capacidades industriais da INB, incluindo as fases da conversão e enriquecimento, visando a competitividade no mercado internacional;
- Análise comparativa do ciclo do combustível nuclear e de *clusters* tecnológicos nucleares de outros países em ascensão nessa área, como a Rússia, China, Índia e a Coreia do Sul;
- Estudo e desenvolvimento de um plano estratégico para o *cluster* nuclear na área de Sorocaba, abordando aspectos como infraestrutura, parcerias e formas de financiamento e políticas públicas de incentivo;
- Avaliação do impacto econômico e tecnológico da ampliação do desenvolvimento do ciclo do combustível nuclear no Brasil, incluindo perspectivas de geração de empregos, geração de tecnologias estratégicas e *payback* por meio de receitas fiscais; e
- Análise de modelo de negócio e de contrato, visando as formas de parcerias entre a Marinha do Brasil e as instituições vinculadas ao ciclo do combustível nuclear brasileiro, incluindo a proteção da propriedade intelectual, segredos industriais estratégicos e pagamentos de *royalities*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDAN - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA PARA DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES NUCLEARES. **Rosatom assina contrato e fornecerá urânio a usina nuclear brasileira de Angra a partir de 2023.** [online]. 2023. Disponível em: <<https://abdan.org.br/2022/12/07/rosatom-assina-contrato-e-fornecera-uranio-a-usina-nuclear-brasileira-de-angra-3-a-partir-de-2023/>>. Acesso em: 03 jul 2024.

AGÊNCIA – **Embraer impulsiona plano de inovação com financiamento de R\$ 500 milhões do BNDES.** [online]. 2024. Disponível em: <<https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202402/embraer-impulsiona-plano-de-inovacao-com-financiamento-de-r-500-mi-do-bndes>>. Acesso em: 19 mai. 2024.

AMAZUL – AMAZÔNIA AZUL TECNOLOGIA DE DEFESA – **WORKSHOP: Pequenos Reatores.** [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.amazul.mar.mil.br/workshop-da-amazul-destaca-potencial-dos-sm>>. Acesso em: 06 jul. 2024.

ANDRA - **Andra Activity report 2022 – LONG-TERM RADIOACTIVE WASTE MANAGMENT.** [online]. 2022. Disponível em: <<https://international.andra.fr/index.php/2020-andra-activity-report-line>>. Acesso em: 06 mai. 2024

ANDRA – **Andra History.** [online]. 2024a. Disponível em: <<https://international.andra.fr/about-andra/history>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

ANDRA – **Andra National Inventory of radioactive materials and waste.** [online]. 2023a. Disponível em: <<https://international.andra.fr/index.php/2020-andra-activity-report-line>>. Acesso em: 06 mai. 2024

ANDRA – **Andra Our Missions.** [online]. 2024b. Disponível em: <<https://international.andra.fr/about-andra/our-missions>>. Acesso em: 06 mai. 2024

ANDRA – **CGEO MAG 2023 – Submission of the consctruction license application for Cigeo.** [online]. 2023b. Disponível em: <https://international.andra.fr/sites/international/files/2023-01/ANDRA-CIGEO-Mag-4p-Nov2022-VJHO_C17_BAT_V2_HD.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2024

BERGMAN, E.M. **Cluster Life-Cycles: An Emerging Synthesis.** In: Karlsson, C. (Ed.). Handbook of Research on Cluster Theory. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2008. p. 114-132.

BOFA – *Bank Of America* – **Global Uranium – U.S. EUP inventories up on Russian ban. Analysing Japonese reactor restarts,** 09 July, 2024.

BRASIL – IMPRENSA NACIONAL. **DECRETO LEI Nº 11.235 DE 13/10/22. Autoriza o aumento do capital da EMBPar.** [online]. 2022a. Disponível em:

<<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-11.235-de-13-de-outubro-de-2022-435824778>>. Acesso em: 03 jul. 2024.

BRASIL. – CONGRESSO NACIONAL - **LEI Nº 14.514**, de 29/12/2022. [online]. 2022b. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2022/lei/L14514.htm>. Acesso em: 03 jul. 2024.

BRASIL. Congresso Nacional – **LEI Nº 6.189, de 16/12/1974**. [online]. 1974. Disponível em: <[://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6189.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L6189.htm)>. Acesso em: 03 de jul. 2024

BRASIL. **Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços – Arranjo Produtivo Local – APL**. 2017 Disponível em: <<https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/competitividade-industrial/arranjos-produtivos-locais-apl>>. Acesso em: 16 mai. 2024

CANUTO, I. M. **Desenvolvimento da Base Industrial de Defesa no Setor Nuclear: Programa Nuclear da Marinha**. 2021. Tese do Curso de Política e Estratégia Marítimas – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021.

CLUSTER. Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos. **Cluster Aeroespacial Brasileiro**. [online]. 2024. Disponível em: <<https://pitsjc.org.br/projetos/cluster-aeroespacial-brasileiro>>. Acesso em: 19 mai. 2024.

CNEN - COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – Institucional Notícias – **INB conclui licitação para importar 650 t de urânio**. [online]. 2020. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=40&campo=13442>. Acesso em: 03 jul.2024.

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR – **Nota à Imprensa – Aprovação do Local para a instalação de beneficiamento de urânio do complexo de Santa Quitéria**. [online]. 2024. Disponível em: <<https://www.gov.br/cnen/pt-br/assunto/ultimas-noticias/nota-a-imprensa-aprovacao-do-local-para-a-instalacao-de-beneficiamento-de-uranio-do-complexo-de-santa-quiteria>>. Acesso em: 03 jul. 2024.

DALLA COSTA, A.; SOUZA-SANTOS, E. R. **Embraer, história, desenvolvimento de tecnologia e a área de defesa**. Revista Economia & Tecnologia, v. 6, n. 3, p. 173–184, 2010.

DEFESA – Defesa Aérea & Naval – **EMBRAER começa a pagar royalties pelo Super Tucano**. [online]. 2014. Disponível em: <<https://www.defesaaereanaval.com.br/naval/embraer-comeca-a-pagar-royalties-pelo-super-tucano>>. Acesso em: 11 jun. 2024.

DEFESA – DEFESA AÉREA & NAVAL – **FRAMATOME e Naval Group concluem aquisição da Jeumont Electric**. [online]. 2024. Disponível em: <<https://www.defesaaereanaval.com.br/divulgacao/framatome-e-naval-group-concluem-aquisicao-da-jeumont-electric>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

EDF – *Électricité de France - Capital Structure*. [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.edf.fr/en/the-edf-group/dedicated-sections/investors/capital-structure>>. Acesso em: 06 mai. 2024

EMBRAER. **Embraer: Central de Resultados**. 2024a. Disponível em: <<https://ri.embraer.com.br/informacoes-financeiras/central-de-resultados/>>. Acesso em: 10 mai. 2024.

EMBRAER. **Embraer: Composição Acionária**. [online]. 2024b. Disponível em: <<https://ri.embraer.com.br/governanca/composicao-acionaria>>. Acesso em: 19 mai. 2024

ENERGY – *At COP28, Countries launch declaration to triple nuclear energy capacity by 2050, recognizing the key role of nuclear energy in reaching net zero*. [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.energy.gov/articles/cop28-countries-launch-declaration-triple-nuclear-energy-capacity-2050-recognizing-key>>. Acesso em: 06 mai. 2024

EUROPE – EUROPE TECHNOLOGIES – **Nuclear Valley Cluster – Member**. [online]. 2024. Disponível em: <<https://europetechnologies.com/en/adherent-au-pole-nuclear-valley/>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

FAB – Força Aérea Brasileira – **EMBRAER e FAB celebram recebimento da Certificação Final para a aeronave KC-390**. [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/40605/CERTIFICA%C3%87%C3%83O%20%20Embraer%20e%20FAB%20celebram%20recebimento%20da%20Certifica%C3%A7%C3%A3o%20Final%20para%20a%20aeronave%20KC-390>>. Acesso em: 11 jun. 2024.

FAB – Força Aérea Brasileira – **Royalties garantem investimentos na área de ciência e tecnologia da FAB**. [online]. 2017. Disponível em: <<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/30720/CONV%C3%8ANIO%20%20Royalties%20garantem%20investimento%20na%20%C3%A1rea%20de%20Ci%C3%Aancia%20e%20tecnologia%20da%20FAB>>. Acesso em: 11 jun. 2024.

FAB – FORÇA AÉREA BRASILEIRA. **O Sistema SIFIAer inicia a operação**. [online]. 2021. Disponível em: <<https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/37148/SISTEMA%20COMPUTACIONAL%20%20O%20sistema%20SIFIAer%20inicia%20a%20opera%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 06 jul. 2024.

FAPESP - FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - **Fundo Aeroespacial**. [online]. 2014. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/fundo-aeroespacial>>. Acesso em: 16 mai. 2024.

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - **Arranjos Produtivos Locais são oportunidades para inovação em pequenas, médias e grandes empresas**. [online]. 2023. Disponível em:

<<https://agencia.fapesp.br/arranjos-produtivos-locais-sao-oportunidade-para-inovacao-em-pequenas-medias-e-grandes-empresas/49875>>. Acesso em: 16 mai. 2024.

FGV – **Energia – Opinião – As diferentes visões a respeito da energia nuclear no Brasil.** [online]. 2019. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/fevereiro-2019_final.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2024.

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. **Sobre a FINEP.** [online]. 2024. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/sobre-a-finep>>. Acesso em: 19 mai. 2024

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. **Finep e MCTI vão apoiar com R\$ 360 milhões o desenvolvimento de tecnologias estratégicas dos setores aeronáutico e espacial.** [online]. 2023. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/noticias/todas-noticias/6574-finep-e-mcti-vao-apoiar-com-r-360-milhoes-o-desenvolvimento-de-tecnologias-estrategicas-dos-setores-aeronautico-e-espacial>>. Acesso em: 19 mai. 2024.

FINEP – Financiadora de Estudos e Projetos. **Veículo lançador de pequeno porte para lançamento de nano e/ou microsatélites.** [online]. 2022. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/chamadas-publicas/chamadapublica/706>>. Acesso em: 19 mai. 2024

FRAMATOME – **Framatome reports 2020 financial results.** [online]. 2021. Disponível em: <<https://www.framatome.com/medias/framatome-reports-2020-financial-results/>>. Acesso em: 01 mai. 2024.

FRAMATOME – **Framatome reports 2021 financial results.** [online]. 2022. Disponível em: <<https://www.framatome.com/medias/framatome-reports-2021-financial-results/>>. Acesso em: 01 mai. 2024.

FRAMATOME – **Framatome reports 2022 financial results.** [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.framatome.com/medias/framatome-reports-financial-results-for-2022/>>. Acesso em: 01 mai. 2024.

FRAMATOME – **Framatome reports 2023 financial results.** [online]. 2024b. Disponível em: <<https://www.framatome.com/medias/framatome-reports-2023-financial-results/>>. Acesso em: 01 mai. 2024.

FRAMATOME – **Framatome World Headquarter.** [online]. Disponível em: <<https://www.framatome.com/en/about/locations/france/>>. 2024a. Acesso em: 03 de mai. 2024.

FRANÇA – **Ministère de L'Économie, Nuclear Valley.** [online]. France, 2023. Disponível em: <<https://www.entreprises.gouv.fr/fr/innovation/poles-de-competitivite/nuclear-valley>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

FUNCATE – Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais – **Portal da Transparência.** [online]. 2024. Disponível em:

<<https://www.funcate.org.br/pt/portal-da-transparencia>>. Acesso em: 11 jun. 2024.

GIRON, G. S. **O Alcance Social do Programa Nuclear da Marinha: Externalidades Positivas e Impactos na Qualidade de Vida e Bem-Estar Social**. 2021. Tese do Curso de Política e Estratégia Marítimas – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021.

GROUP – NAVAL GROUP – **FRAMATOME and Naval Group complete the acquisition of Jeumont Electric**. [online]. 2024. Disponível em: <<https://www.naval-group.com/en/framatome-and-naval-group-complete-acquisition-jeumont-electric>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY – **France's Efficiency in the Nuclear Fuel Cycle: What can 'oui' learn ?**. [online]. 2019. Disponível em: <<https://www.iaea.org/newscenter/news/frances-efficiency-in-the-nuclear-fuel-cycle-what-can-oui-learn>>. Acesso em: 10 mai. 2024.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY – IEA. **Net Zero By 2050 – A roadmap for the Global Energy Sector**. [online]. 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>. Acesso em: 01 mai. 2024.

IEA – *International Energy Agency* - **Executive summary**. [online]. 2022. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/nuclear-power-and-secure-energy-transitions/executive-summary>>. Acesso em: 06 mai. 2024

IFI – INSTITUTO DE FOMENTE A INDÚSTRIA. **Apresentação Institucional 2022**. [Powerpoint Slides]. 2022.

IFI – Instituto de Fomento e Coordenação Industrial. [online]. 2024. Disponível em: <<https://ifi.dcta.mil.br/index.php/convenio-icms-75-91#etapas-do-processo>>. Acesso em: 23 jun. 2024.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL – **LICITAÇÕES E CONTRATOS**. [online]. 2024c. Disponível em: <<https://www.inb.gov.br/Acesso-a-Informacao/Licitacoes-e-Contratos>>. Acesso em: 03 jul. 2024

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL – **Presidente da INB anuncia novos negócios que injetarão R\$ 70 bilhões na estatal**. [online], 2024d. Disponível em: <<https://www.inb.gov.br/pt-br/Detalhe/Conteudo/presidente-da-inb-anuncia-novos-negocios-que-injetarao-r-70-bilhoes-na-estatal/Origem/329>>. Acesso em: 03 jul. 2024

INB - INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **Nossas Atividades**. [online]. [2024]. Disponível em: <www.inb.gov.br/pt-br/Nossas-Atividades/Ciclo-do-combustivel-nuclear>. Acesso em: 12 fev. 2024.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **QUEM SOMOS – HISTÓRIA**. [online]. 2024a. Disponível em: <<https://www.inb.gov.br/A-INB/Quem-somos/Hist%C3%B3ria>>. Acesso em: 03 jul. de 2024.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **RELATÓRIO DA ADMINISTRAÇÃO – EXERCÍCIO DE 2023**. [online]. 2024b. Disponível em: <<https://www.inb.gov.br/Relacoes-com-Acionistas/Informacoes-aos-Acionistas/Informacoes-Financeiras/Relatorio-Anual-da-Administracao-Relato-Integrado-e-Demonstracoes-Financeiras>>. Acesso em: 02 jun. de 2024.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **RELATÓRIO DA ADMINISTRAÇÃO – EXERCÍCIO DE 2022**. [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.inb.gov.br/Relacoes-com-Acionistas/Informacoes-aos-Acionistas/Informacoes-Financeiras/Relatorio-Anual-da-Administracao-Relato-Integrado-e-Demonstracoes-Financeiras>>. Acesso em: 02 jun. de 2024.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **RELATÓRIO DA ADMINISTRAÇÃO – EXERCÍCIO DE 2021**. [online]. 2022. Disponível em: <<https://www.inb.gov.br/Relacoes-com-Acionistas/Informacoes-aos-Acionistas/Informacoes-Financeiras/Relatorio-Anual-da-Administracao-Relato-Integrado-e-Demonstracoes-Financeiras>>. Acesso em: 02 jun. de 2024.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. **RELATÓRIO DA ADMINISTRAÇÃO – EXERCÍCIO DE 2020**. [online]. 2021. Disponível em: <<https://www.inb.gov.br/Relacoes-com-Acionistas/Informacoes-aos-Acionistas/Informacoes-Financeiras/Relatorio-Anual-da-Administracao-Relato-Integrado-e-Demonstracoes-Financeiras>>. Acesso em: 02 jun. de 2024.

IPEN – INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES – **Reator Multipropósito Brasileiro**. [online]. 2020. Disponível em: <https://www.ipen.br/portal_por/portal/interna.php?secao_id=2773>. Acesso em: 06 jul. 2024.

KERR, W. R.; Nicoud, R. F., **Tech Clusters**, Working Paper 20-063. Harvard Business School, p. 1-25, 2020.

KOGA, C. M., **A busca pela autonomia na indústria de defesa brasileira: as joint venture como forma de desenvolvimento**, tese do Curso de Política e Estratégia Marítimas, Escola de Guerra Naval, 2013.

LIMA, J. C. C. O. et al. **A cadeia aeronáutica brasileira e o desafio da inovação**. Biblioteca digital – BNDES. Rio de Janeiro. n. 21, p. 31-55, 2005. Disponível em: <<http://www.bndes.gov.br/bibliotecadigital>>. Acesso em: 16 maio 2017.

LUZ, M. S. **ANÁLISE GASDINÂMICA E SEPARATIVA DE UMA ULTRACENTRÍFUGA PARA SEPARAÇÃO DE ²³⁵UF₆ PELO MÉTODO DE PERTURBAÇÕES**. Tese de Concurso Público de Professor Titular da Universidade Federal Fluminense – UFF, 1993.

MARQUES, G. R. G. **Desenvolvimento da Base Industrial de Defesa brasileira pela ótica das Cadeias Globais de Valor: insumos para uma agenda de produtividade e competitividade**. 2024. 236 f. Tese (Doutorado

em Ciências Militares) – Instituto Meira Mattos, Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <<https://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/123456789/13623?mode=full>>. Acesso em: 22 mai. 2024.

MB – MARINHA DO BRASIL. Agência de Notícias. **Diretoria Geral de Desenvolvimento Nuclear e Tecnológico da Marinha e Indústrias Nucleares do Brasil firmam parceria estratégica.** [on-line]. 2020. Disponível em: <www.marinha.mil.br/noticias/diretoria-geral-de-desenvolvimento-nuclear-e-tecnologico-da-marinha-e-industrias-nucleares>. Acesso em: 12 fev. 2024.

MB – MARINHA DO BRASIL. **Ciência e Tecnologia – Tecnologia desenvolvida pela Marinha fortalece o setor de energia nuclear do País.** [on-line]. 2022. Disponível em: <www.marinha.mil.br/agenciadenoticias/tecnologia-desenvolvida-pela-marinha-fortalece-o-setor-de-energia-nuclear-do-pais>. Acesso em: 12 fev. 2024.

MB – MARINHA DO BRASIL. DIRETORIA GERAL DE DESENVOLVIMENTO NUCLEAR E TECNOLÓGICO DA MARINHA. **Marinha do Brasil, AMAZUL e Fundação PATRIA realizam visita no Parque Tecnológico de Sorocaba.** [online]. 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dgdntm/Marinha_do_Brasil_AMAZUL_Fundacao_PATRIA_realizam_visita_Parque_Tecnologico_Sorocaba>. Acesso em: 04 jul. 2024.

MCTI – Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – **MCTI e Embraer discutem fortalecimento de parcerias.** [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/noticias/2023/09/mcti-e-embraer-discutem-fortalecimento-de-parcerias>>. Acesso em: 19 mai. 2024.
MD, Ministério da Defesa. **Política Nacional de Defesa e Estratégia Nacional de Defesa.** Brasília-DF. 2024.

MENZEL, M.P.; FORNAHL, D. **Cluster Life Cycles - Dimensions and Rationales of Cluster Evolution.** Industrial and Corporate Change, v. 19, n. 1, p. 205-238, 2010.

MESSER, Rafael Mesquita. **A Relevância de um Submarino Convencional com Propulsão Nuclear para o Estado Brasileiro.** 2021. Mestrado em Estudos Marítimos - Programa de Pós-Graduação em Estudos Marítimos – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2021.

MME, Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia – 2050.** Empresa de Pesquisa Energética. Brasília-DF, 2020

MOURA, R. S. **Geopolítica e Estratégia Naval: Importância de Dotar o Brasil de uma Força Submarina Nuclear.** 2014. Tese do Curso de Política e Estratégia Marítimas – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2014.

NAVAL – *NAVAL NEWS – Naval Group signs first industrial orders for the new Generation of French Navy SSNB*. [online]. 2021. Disponível em: <<https://www.navalnews.com/naval-news/2021/06/naval-group-signs-first-industrial-orders-for-future-french-navys-third-generation-ssbns/>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

NEI – *NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL – FRAMATOME projects receive funding from government stimulus package*. [online]. 2021. Disponível em: <<https://www.neimagazine.com/news/newsframatome-projects-receive-funding-from-government-stimulus-package-8681305>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

NEI - *NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL – France awards grants for research and development of molten salt reactors*. [online]. 2024. Disponível em: <<https://www.neimagazine.com/news/newsfrance-awards-grants-for-research-and-development-of-molten-salt-reactors-11635418/>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

NUNES, M.. (2021). Revista Brasileira De Aviação Civil& Ciências Aeronáuticas. **CLUSTER AEROESPACIAL BRASILEIRO – 15 ANOS DE HISTÓRIA**. 1(4), 1–6. Disponível em: <<https://rbac.cia.emnuvens.com.br/revista/article/view/53>>. Acesso em: 16 mai. 2024.

ONU. **UN Comtrade Database**. [online]. 2024. Disponível em: <<https://comtrade.un.org/>>. Acesso em: 22 mai. 2024.

ORANO – *Annual Report 2022*. [online]. 2022. Disponível em: <<https://www.orano.group/en/finance/publications-and-regulated-information-credit-update-orano>>. Acesso em: 16 abr. 2024.

ORANO – *Annual Report 2023*. [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.orano.group/en/news/news-group/2024/february/annual-results-2023>>. Acesso em: 16 abr. 2024.

ORANO – **Concertation Préalable du 1^{er} Février au 9 avril 2023 – Project d’extension de l’usine d’enrichissement d’uranium Georges Besse 2** - Dossier de la concertation, Jan., 2023

ORANO – **France 2030: the two startups Stellaria and Thorizon working in consortium with Orano selected as winners of the call for projects to develop molten salt reactors**. [online]. 2024c. Disponível em: <<https://www.orano.group/en/news/news-group/2024/march/france-2030-the-two-startups-stellaria-and-thorizon-working-in-consortium-with-orano-selected-as-winners-of-the-call-for-projects-to-develop-molten-salt-reactors>>. Acesso em: 03 mai. 2024.

ORANO – **Orano in France**. [online]. 2024b. Disponível em: <<https://www.orano.group/en/orano-across-the-world/france>>. Acesso em: 06 mai. 2024

ORANO – **Orano joins forces with Supernova Invest to launch the Orano Venture Fund, which will invest in startups in the circular economy and advanced industrial Technologies.** [online]. France, 2024a. Disponível em: <<https://www.orano.group/en/news/news-group/2024/march/orano-joins-forces-with-supernova-invest-to-launch-the-orano-venture-fund-which-will-invest-in-startups-in-the-circular-economy-and-advanced-industrial-technologies>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

PARQUE - Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos – **Cluster Aeroespacial & Defesa Brasileiro do PIT participa de reunião com a Arábia Saudita na Dubai AirShow 2023.** [online]. 2023. Disponível em: <<https://pitsjc.org.br/noticias/cluster-aero/cluster-aeroespacial-defesa-brasileiro-do-pit-participa-de-reuniao-com-a-arabia-saudita-na-dubai-airshow-2023/>>. Acesso em: 19 mai. 2024.

PARQUE. Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos - **Atividades da Associação Parque Tecnológico de São José dos Campos – Relatório 2022.** [online]. 2022. Disponível em: <<https://pitsjc.org.br/download/relatorio-de-atividades-2022>>. Acesso em: 16 mai. 2024

PARQUE. Parque de Inovação Tecnológica de São José dos Campos – **Página Principal - Programas.** [online]. 2024. Disponível em: <<https://pitsjc.org.br/>>. Acesso em: 19 mai. 2024

PETRO – PETRONOTÍCIAS – **INB enviará 250 toneladas de urânio produzido na Bahia para etapa de conversão no exterior.** [online]. 2024. Disponível em: <<https://petronoticias.com.br/inb-enviara-250-toneladas-de-uranio-produzido-na-bahia-para-etapa-de-conversao-no-exterior>>. Acesso em: 03 jul. 2024.

PORTER, Michael E. **Clusters and the New Economics of Competition.** Harvard Business Review, v. 76, n. 6, p. 77-90, 1998.

REEL – ***Elected Président of the The Nuclear Valley.*** [online]. 2024. Disponível em: <<https://www.reelinternational.com/en/actualites/philippe-frantz-president-nuclear-valley/>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

RUÍVO, João Batista de Medeiros. **A Relevância do Programa Nuclear da Marinha: Externalidades Positivas e Uso Dual das Tecnologias Desenvolvidas.** 2017. Tese do Curso de Política e Estratégia Marítimas – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2017.

Schierholt, M. I.; Martinelli, G. C.; Gimenes, R. M. T., **Ciclo de Vida dos Clusters: levantamento do estado da arte.** Informe GEPEC, ISSN: 1679-415X, Toledo, v. 26, n.1, p. 258-274, Jan/Jun, 2022.

SIFTED – **SIFTED EUROPEAN STARTUP COMMUNITY – France bets €1bn on startups Building bus-sized nuclear reactors to fight climate change.**

[online]. 2024. Disponível em: <<https://sifted.eu/articles/france-bets-on-nuclear-tech>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

SILVA NETO, R. M. **Modelos de Gestão para a Indústria Brasileira de Combustível Nuclear: Alcançando Autonomia em Todas as Atividades do Ciclo do Combustível**. 2022. Tese do Curso de Política e Estratégia Marítimas – Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2022.

Silva, M. A. Coelho. “**Brazilian Nuclear Program near future Opportunities**”, *Annual Symposia of the Latin American Section of the American Nuclear Society - LAS/ANS*. [online]. 2023. Buenos Aires, Argentina. Disponível em: <<https://las-ans.org.br/wp-content/uploads/2024/03/INB-Coelho-da-Silva.pdf>>. Acesso em: 04 jul. 2024.

SILVA, Ozires (1999). **A Decolagem de um sonho (A história da criação da Embraer)**. São Paulo, Lemos Editorial, 2 a. Edição.

SIMPSON, J.; WEINER, E. **The Oxford English Dictionary**. Oxford: Clarendon Press, 2010.

SJC – Prefeitura Municipal de São José dos Campos – **Parque de Inovação Tecnológica**. [online]. 2024. Disponível em: <<https://www.sjc.sp.gov.br/servicos/inovacao-e-desenvolvimento-economico/tecnologia/parque-de-inovacao-tecnologica>>. Acesso em: 16 mai. 2024.

SJC – Prefeitura Municipal de São José dos Campos – **São José amplia benefícios na Lei de Incentivos Fiscais**. [online]. 2022. Disponível em: <<https://www.sjc.sp.gov.br/noticias/2022/novembro/18/sao-jose-amplia-beneficios-na-lei-de-incentivos-fiscais>>. Acesso em: 23 jun. 2024

SOUZA, C. C.; FILGUEIRAS, E. Q. **Financiamento de Ciência, Tecnologia e Inovação e o Modelo de Negócio CANVAS: O Caso dos royalties de produtos estratégicos de defesa no Departamento de Ciência e Tecnologia aeroespacial**. 2021. 38 f. Tese (Especialista em Altos Estudos em Defesa) – Escola Superior de Defesa, Brasília, 2021.

TOFFANO, L.; MARQUES, G. R. G.; MARINHO, R. **Parcerias estratégicas internacionais, defesa e desenvolvimento: implicações comerciais e tecnológicas dos projetos Xavante e AMX**. Anais do XI Encontro Nacional da Associação Brasileira de Estudos de Defesa (ENABED). Anais... Niterói, RJ: Associação Brasileira de Estudos de

VALLEY – **Nuclear Valley – Le pôle de compétitivité de la filière nucléaire et défense en régions**. [online]. France, 2024. Disponível em: <www.nuclearvalley.com>. Acesso em: 05 mai. 2024.

WNA – WORLD NUCLEAR ASSOCIATION – **Nuclear Fuel and Its Fabrication**. [online]. 2021. Disponível em: <[https://world-](https://world-nuclear.org)

nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/fuel-fabrication.aspx>. Acesso em: 20 abr. 2024

WNA – World Nuclear Association – **Nuclear Fuel Cycle: Conversion and Deconversion**. 2024b. Disponível em: <<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/conversion-and-deconversion>>. Acesso em: 29 de jul. de 2024.

WNA – World Nuclear Association – **Nuclear Fuel Cycle: Supply of Uranium**, 2024a. Disponível em: <<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/uranium-resources/supply-of-uranium>>. Acesso em: 29 de jul. de 2024.

WNA – World Nuclear Association – **Nuclear Fuel Cycle: Uranium Enrichment**. 2024c. Disponível em: <<https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/conversion-enrichment-and-fabrication/uranium-enrichment>>. Acesso em: 29 de jul. de 2024.

WNA – World Nuclear Association – **The Nuclear Fuel Report – Global Scenarios for Demand and Supply Availability 2023 – 2040**, 2023a, Report nº 2023/003, ISBN 978-0-9931019-9-1, Setembro 2023.

WNA – World Nuclear Association – **The World Nuclear Supply Chain – 2023 Edition**, 2023b, Report nº 2023/002, ISBN 978-0-9931019-8-4, Agosto 2023.

WNA - WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. **Orano to expand capacity of French enrichment plant**. [online]. France, 2023a. Disponível em: <<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Orano-to-expand-capacity-of-French-enrichment-plan>>. Acesso em: 01 mai. 2024.

WNN – WORLD NUCLEAR NEWS – **Alliance calls for greater European support for nuclear**. [online]. 2023. Disponível em: <<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Alliance-calls-for-greater-European-support-for-nu>>. Acesso em: 05 mai. 2024.

WNN – WORLD NUCLEAR NEWS – **New Areva changes name to Orano**. [online]. 2018a. Disponível em: <<https://www.world-nuclear-news.org/C-New-Areva-changes-name-to-Orano-2301185.html>>. Acesso em: 06 mai. 2024.

WNN – WORLD NUCLEAR NEWS – **New NP resurrects Framatome name**. [online]. 2018b. Disponível em: <<https://www.world-nuclear-news.org/Articles/New-NP-resurrects-Framatome-name>>. Acesso em: 01 mai. 2024.