

# PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA

- REPRESENTANTE DO BRASIL & PRESIDENTE DO COMITÊ DE ENERGIA ATÔMICA DA ONU POR DOIS PERÍODOS (1946 - 1948)
- PRIMEIRO PRESIDENTE DO CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO - CNPq (1951 - 1955)
- RESPONSÁVEL POR TRAZER AS PRIMEIRAS 3 ULTRACENTRÍFUGAS PARA ENRIQUECIMENTO DE URÂNIO DO BRASIL (1954)
- FUNDAMENTAL PARA O SURGIMENTO DA COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR - CNEN (1956)
- PRÊMIO ÁLVARO ALBERTO – MAIOR PRÊMIO DE C&T DO PAÍS

ALMIRANTE ÁLVARO ALBERTO

*"O DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO & TECNOLÓGICO ESTÁ INTIMAMENTE LIGADO À PROSPERIDADE DO PAÍS".*



# ORIGENS

- **PLANO ESTRATÉGICO – ANOS 70 (PROJETO & CONSTRUÇÃO DE UM SUBMARINO NUCLEAR)**
- **1979: INÍCIO DO PROJETO PARA CHEGAR À PROPULSÃO NUCLEAR**
  - ✓ DOMÍNIO DO CICLO DO COMBUSTÍVEL & CONSTRUÇÃO DE UM REATOR
- **1981: PARCERIA COM IPEN/CNEN**
  - ✓ PROJETO E CONSTRUÇÃO DO PRIMEIRO REATOR DE PESQUISA BRASILEIRO (IPEN / MB-01)
- **1988: INÍCIO DA OPERAÇÃO DO IPEN/MB-01**
- **1988: DOMÍNIO DO CICLO DO COMBUSTÍVEL E ATIVAÇÃO DO LABORATÓRIO DE ENRIQUECIMENTO**



IPEN-MB-01 INTERIOR DO REATOR

# FABRICAÇÃO DO ELEMENTO COMBUSTÍVEL



## VALOR AGREGADO POR ETAPA



MINERAÇÃO - 30%



$U_3O_8$



CONVERSÃO - 5%

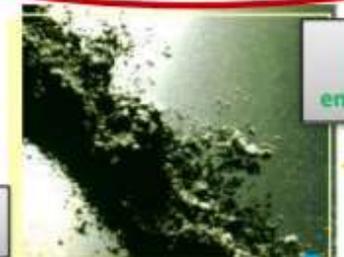


$UF_6$   
natural



**ENRIQUECIMENTO - 35%**

$UF_6$   
enriquecido



RECONVERSÃO



PÓ de  $UO_2$



PASTILHAS de  $UO_2$



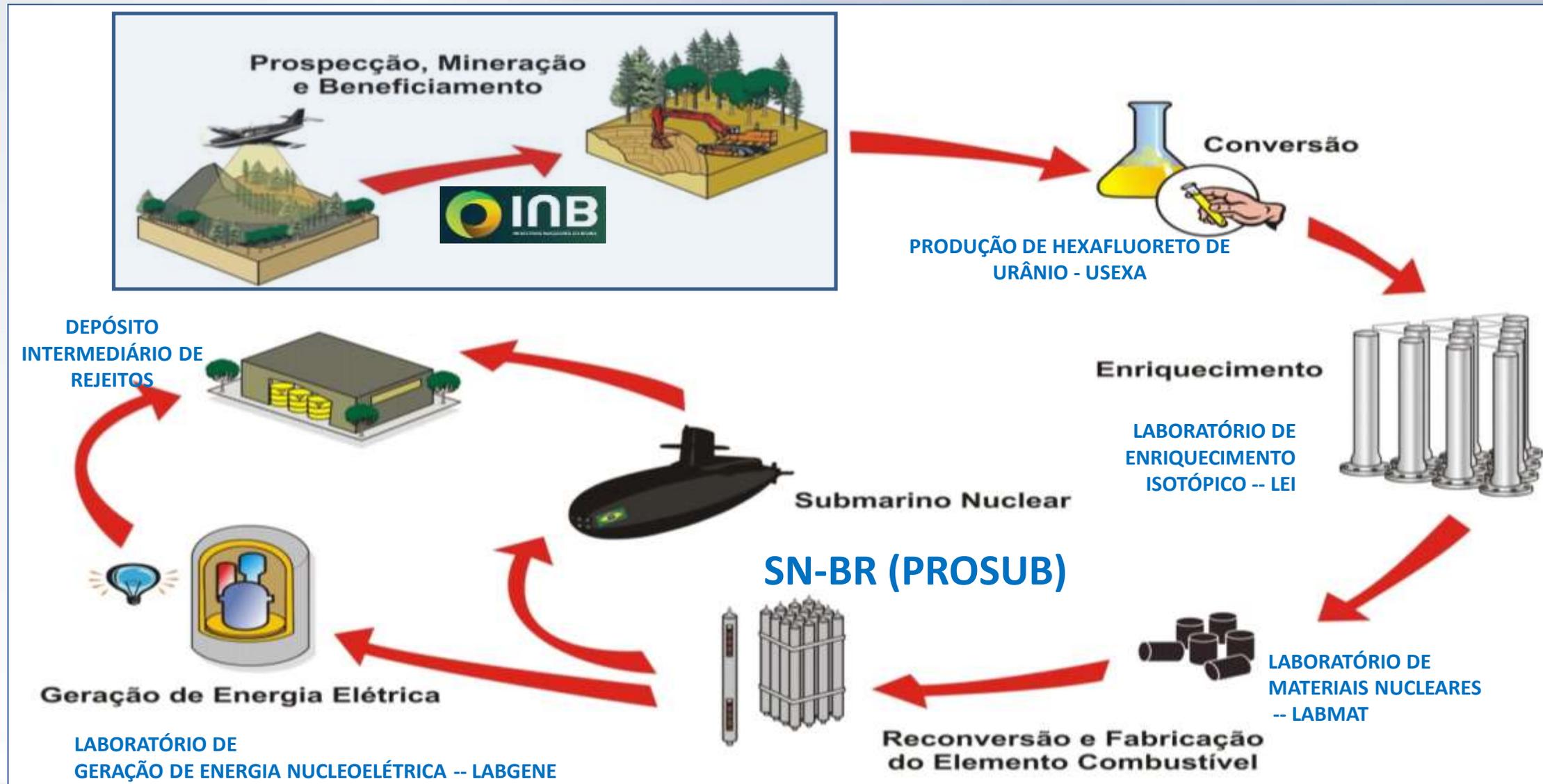
RECONVERSÃO + PASTILHAS + MONTAGEM DO ELEMENTO - 30%



**ELEMENTO  
COMBUSTÍVEL**

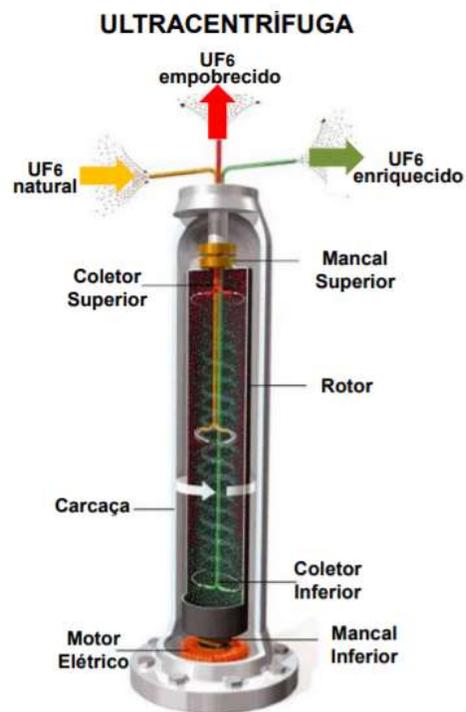


# CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR PARA O SUBMARINO NUCLEAR BRASILEIRO (SN-BR)



# ENRIQUECIMENTO ISOTÓPICO

## PROCESSO BRASILEIRO: ULTRACENTRIFUGAÇÃO EM CASCATA



### PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS:

- NÃO HÁ GERAÇÃO DE EFLUENTES LÍQUIDOS E GASOSOS
- NÃO HÁ ADIÇÃO DE INSUMOS QUÍMICOS
- NÃO HÁ REAÇÕES QUÍMICAS - BAIXÍSSIMO RISCO NUCLEAR



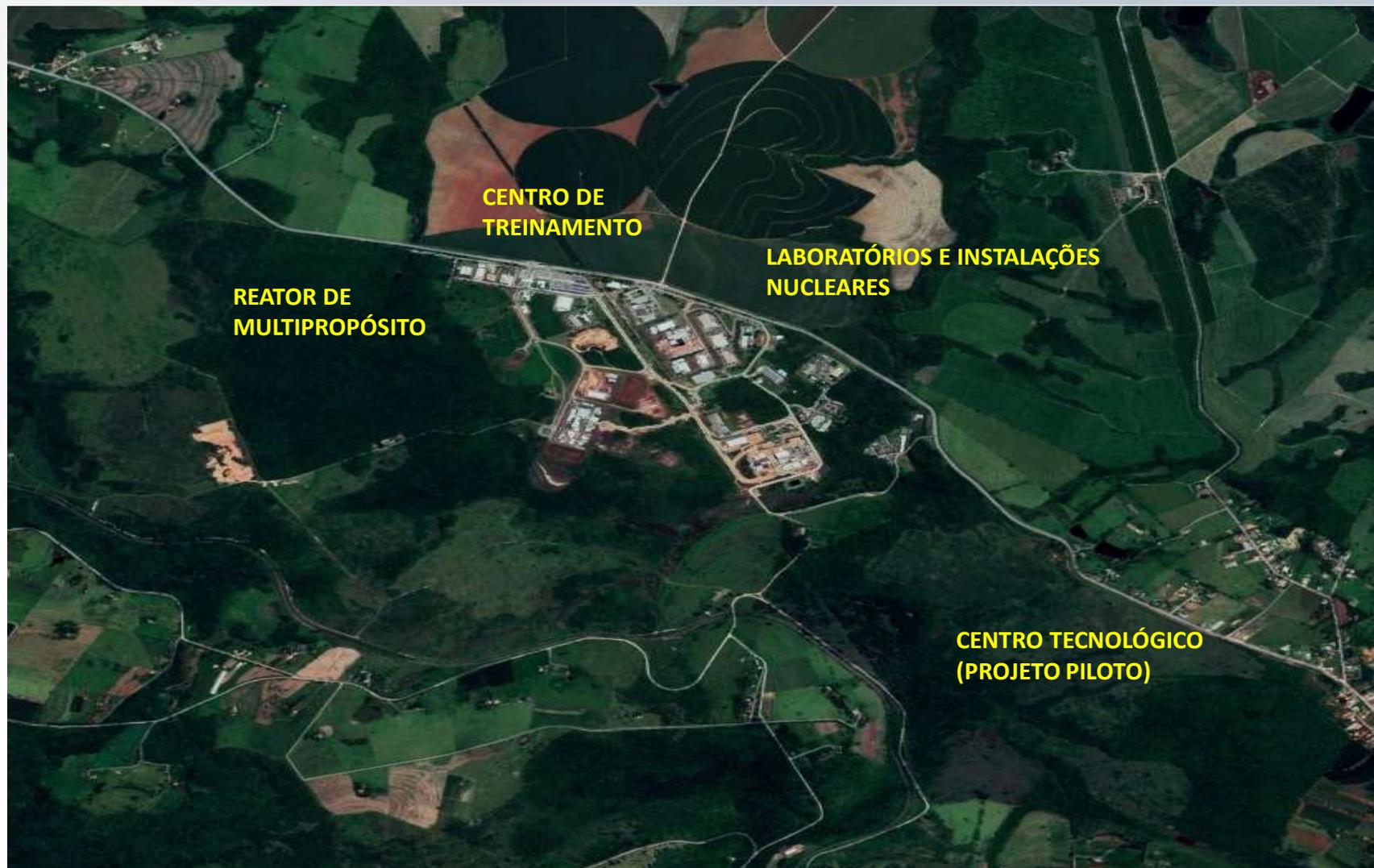
# INB – ENRIQUECIMENTO NACIONAL



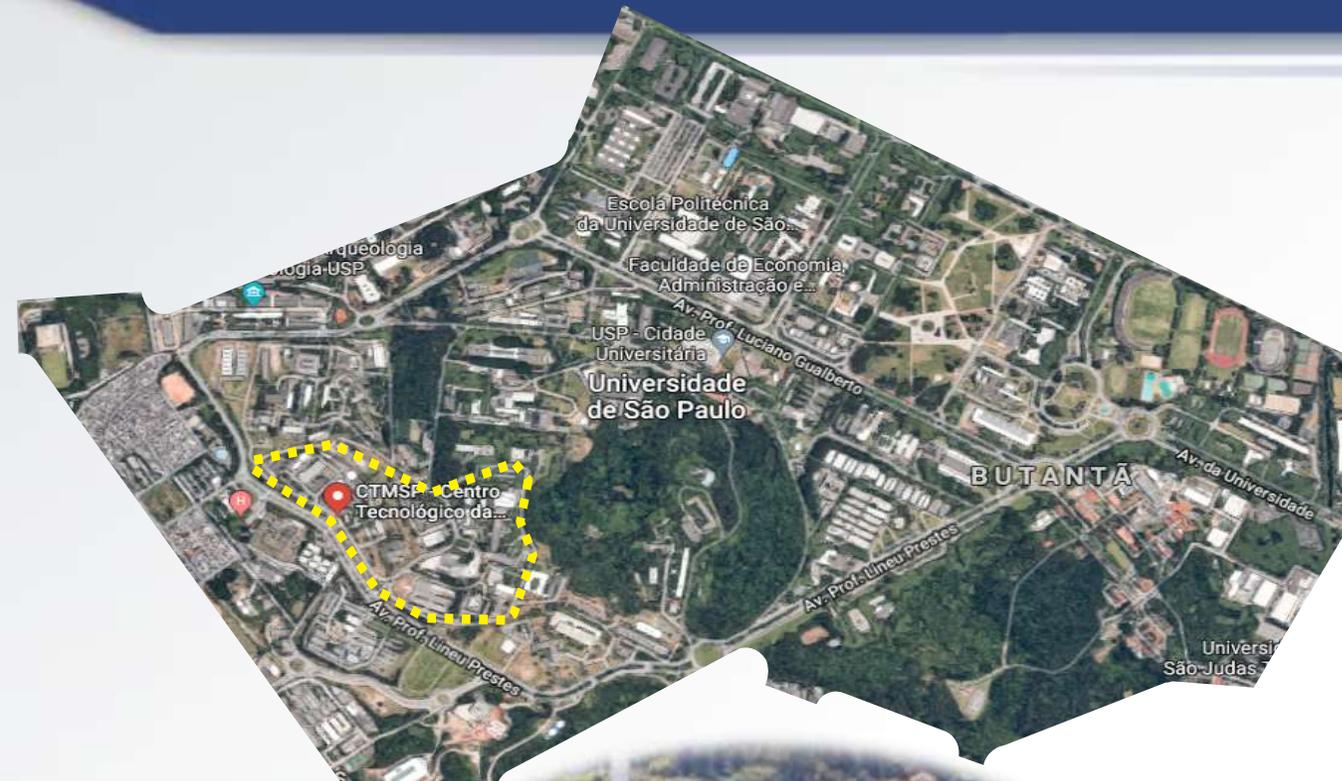
**POSSUI ATUALMENTE 8 CASCATAS DE PRODUÇÃO (8ª CASCATA ENTREGUE EM 2019)**

# CENTRO INDUSTRIAL NUCLEAR DA MARINHA - **ARAMAR**

- **COMPLEXO NUCLEAR**  
(DISPONIBILIDADE DE ESPAÇO)
- **1800 PESSOAS**
- **UNIDADES INDUSTRIAIS**
- **LABS E REATORES**  
(LABGENE & RMB)
- **CENTRO TECNOLÓGICO**  
(PROJETO PILOTO)



# CENTRO TECNOLÓGICO DA MARINHA – SÃO PAULO



- 1200 PESSOAS (70% CIVIS)
  - 49 DOUTORES & 167 MESTRES
- ESCRITÓRIOS DE PROJETO
- LABORATÓRIOS DE TESTE
  - ✓ IPEN, IPT & USP PROXIMIDADE

**PROJETO**



**DENSENVOLVIMENTO**



IPEN/MB – 01 REACTOR BUILDING

# PROSUB

## ➤ COOPERAÇÃO COM A FRANÇA

➤ **2008**: ACORDO DE PARCERIA ESTRATÉGICA

➤ ÁREA NÃO NUCLEAR

➤ FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS; ESTALEIRO E BASE NAVAL

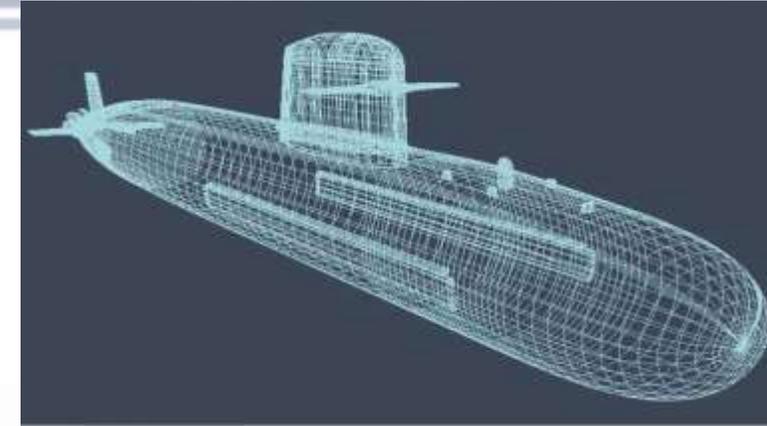
➤ 5 SUBMARINOS

✓ 4 CONVECIONAIS

✓ 1 NUCLEAR

✓ PROJETO BÁSICO FINALIZADO

E CERTICADO (FRANÇA) EM JAN2007

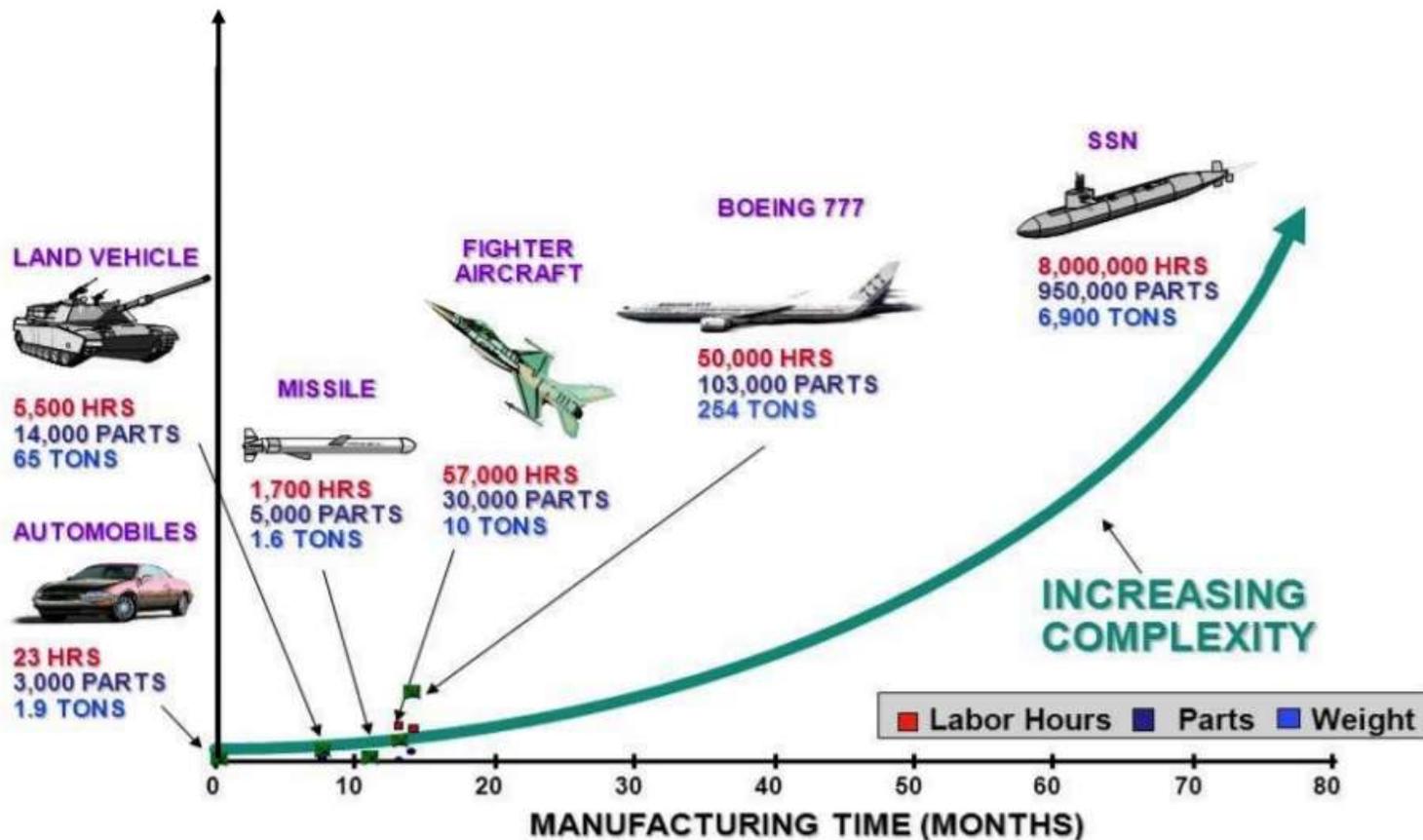


## Submarino Nuclear Brasileiro



SNB 'Álvaro Alberto' - SN10

# COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA



 National Shipbuilding Research Program – Advanced Shipbuilding Enterprise (NSRP ASE) – US Navy

GRANDE COMPLEXIDADE TECNOLÓGICA: REQUER RECURSOS HUMANOS DE ALTA QUALIFICAÇÃO PARA PROJETAR, CONSTRUIR, COMMISSIONAR, OPERAR, MANTER E DESCOMMISSIONAR O SUBMARINO COM PROPULSÃO NUCLEAR.

**8 MILHÕES HOMENS-HORA**  
**950 MIL COMPONENTES**  
SUBMARINO DE PROPULSÃO NUCLEAR



# UNIDADE DE FABRICAÇÃO DE ESTRUTURAS METÁLICAS

➤ PREPARAÇÃO DAS SEÇÕES

2010



2013



2018

# ESTALEIRO E BASE NAVAL

➤ INTEGRAÇÃO & TESTES

2010



2017



2018

INTEGRAÇÃO

# ESTALEIRO E BASE NAVAL

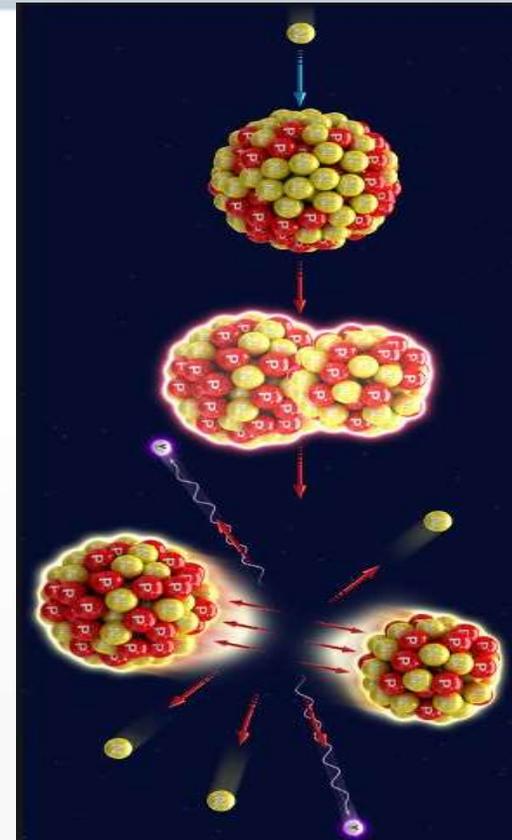


ILHA DA MADEIRA, MUNICÍPIO DE ITAGUAÍ,  
ESTADO DO RIO DE JANEIRO

# ENERGIA NUCLEAR - PRIMEIROS AVANÇOS

- 1932 - **Reação nuclear** - J. Cockcroft & E. Walton
- 1933 - **Reação em cadeia** - Léo Szilárd
- 1934 - **Moderação de nêutrons** - Enrico Fermi
- 1938/39 - **Fissão nuclear** - O. Hahn & F. Strassman  
- L. Meitner & O. R. Frisch
- 1941 - **Plutônio** - Glenn T. Seaborg & Edwin Mcmillan
- 1942 - **Pilha de Fermi** - 1º reator (E. Fermi & L.Szilárd)
- 1945 - **Bombas** - Trinity Test (Pu, New Mexico)  
Little Boy (U, Hiroshima)  
Fat Boy (Pu, Nagasaki)
- 1954 - **Reator nuclear** - Obninsk – 5MWe (1954)

**Reação controlada**



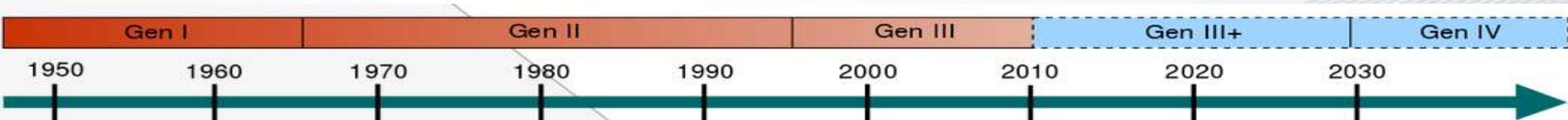
# REATORES NUCLEARES - GERAÇÕES

**1ª GERAÇÃO (50-60):** combustíveis (U metal;  $UO_2$ ); moderadores (grafite, água pesada, água leve, Be); refrigerantes (líquidos, gases); potências de 5 a 180 MWe

**2ª GERAÇÃO (70-90):** maioria dos reatores atuais PWR ou BWR

**3ª GERAÇÃO (pós 90):** sistemas passivos de segurança; simplificação de projeto, operação e manutenção; padronização. Reatores atuais de grande porte

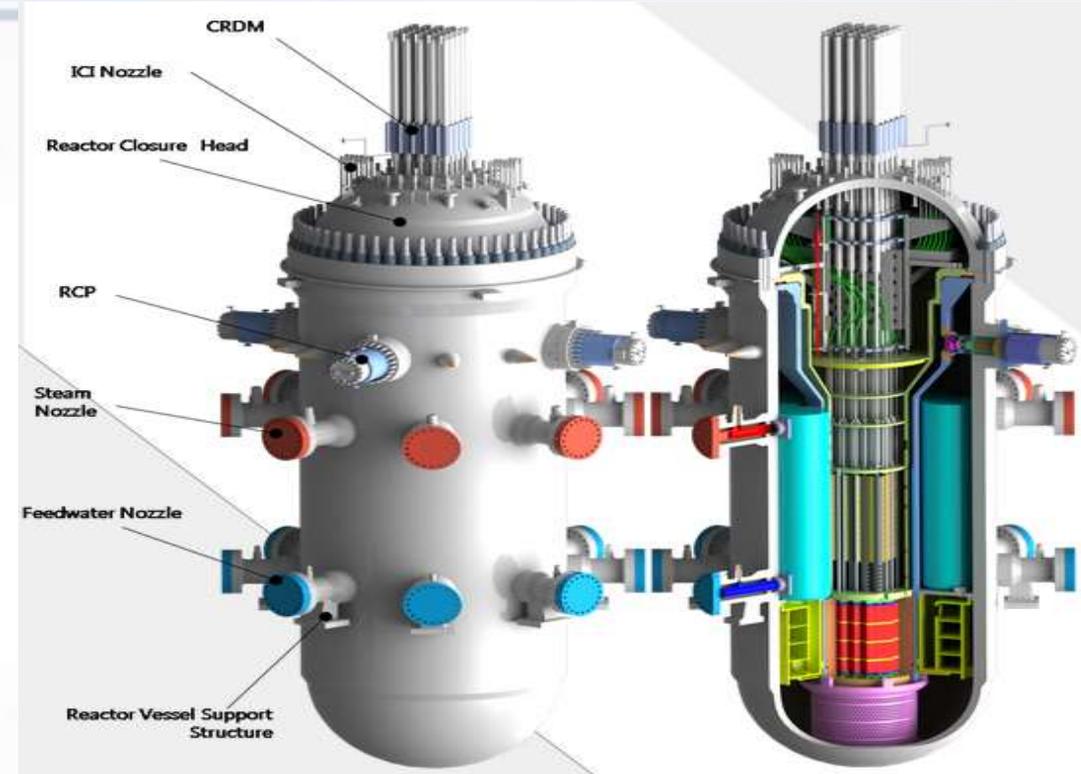
**4ª GERAÇÃO (futuro):** sistemas passivos de segurança; reprocessamento de combustível; altas T/eficiência; preços competitivos



# REATORES NUCLEARES – REATORES MODULARES DE PEQUENO PORTE

**Capacidade:**  $20\text{MWt} < P < 300\text{MWt}$

- Projeto mais simples e mais robusto
  - Menos sujeitos a problemas operacionais
  - Menor risco de acidentes severos
  - Maior independência da ação do operador
  - Maior disponibilidade e vida operacional de 60 anos
  - Processo de licenciamento mais ágil
- 
- Utilização de experiência prévia de projeto e de operação
  - Incorporação das lições de Fukushima (**Geração III+**)



# REATORES NUCLEARES – REATORES MODULARES DE PEQUENO PORTE - EXEMPLOS

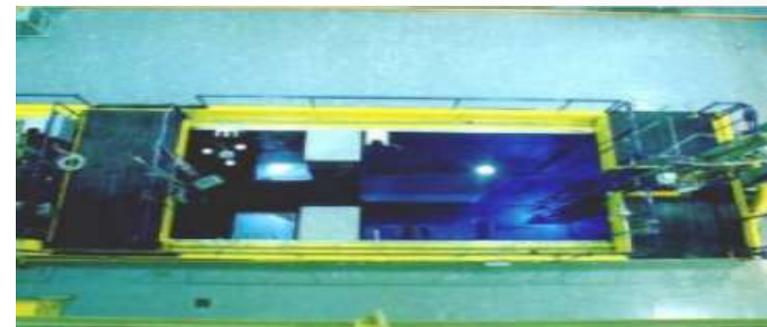
➤ De acordo com a IAEA existem mais de 40 reatores modulares de pequeno porte. A grande maioria encontra-se em fase de projeto e construção



# REATORES NUCLEARES – **INSTALADOS NO BRASIL**

Nome	Aplicação	Potência	Características
ANGRA I	Geração de energia elétrica	1950 MWt 657 MWe	PWR (Westinghouse)
ANGRA II	Geração de energia elétrica	3970 MWt 1350 MWe	PWR (Siemens)
ANGRA III*	Geração de energia elétrica	3970 MWt 1350 MWe	PWR (Siemens)
IEA-R1	Pesquisa – produção de radioisótopos	5 MW	MTR, piscina
IPEN-MB/01	Pesquisa – unidade crítica	100 W	Simulador de núcleo de PWR
TRIGA-IPR1	Pesquisa	100 kW	TRIGA MARK-1
Argonauta	Ensino, pesquisa	500 W	Tipo placa (Argonne)
LABGENE*	Propulsão Naval	48 MW	PWR
RMB*	Pesquisa	30 MW	MTR, piscina

IEA-R1-IPEN-5MW



IPEN/MB-01-IPEN  
Unidade crítica 1988



\* **NÃO CONCLUÍDOS**

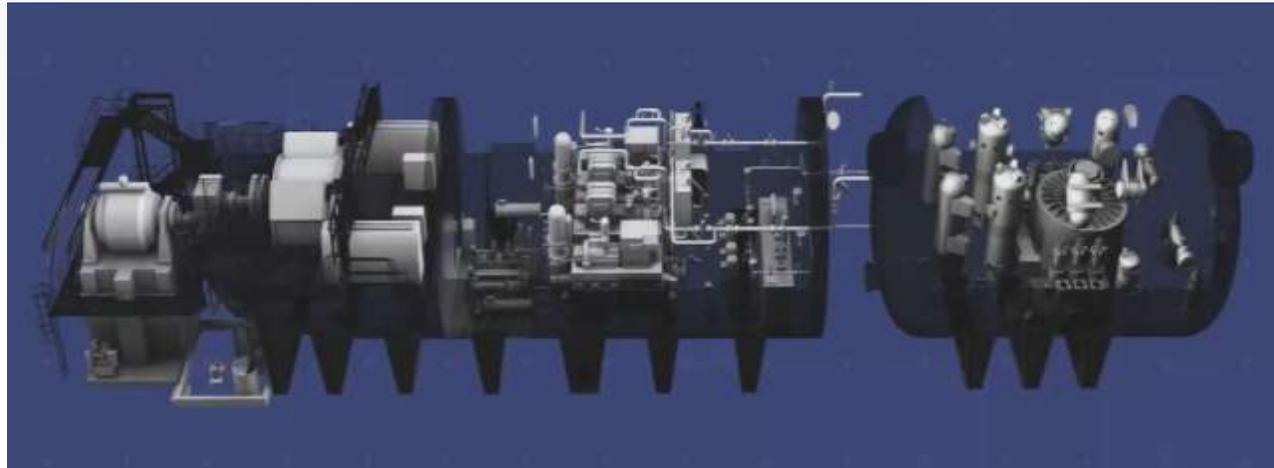
# REATORES NUCLEARES – LABGENE

- Primeiro reator de potência projetado e construído no Brasil (48MWt/11MWe)
- Reator PWR de pequeno porte, de 2ª Geração; aspectos de segurança de 3ª Geração
- Protótipo em terra do reator do futuro submarino nuclear brasileiro
- Capacitação de RH para projeto/construção e operação de reatores SMR no País
- Aperfeiçoamentos para 3ª Geração e futuro uso dual
- Vantagem comparativa: acoplado ao domínio do ciclo do combustível



# REATORES NUCLEARES – LABGENE - BENEFÍCIOS

- Domínio do ciclo do combustível
- Nacionalização: fibra de carbono e outros desenvolvimentos tecnológicos
- Capacitação de pessoal
- Experiência na construção de pequenos reatores nucleares para propulsão naval
- Experiência no uso dual de reatores SMR (energia, dessalinização etc.)



# REATORES NUCLEARES – RMB



# RMB

Reator  
Multipropósito  
Brasileiro

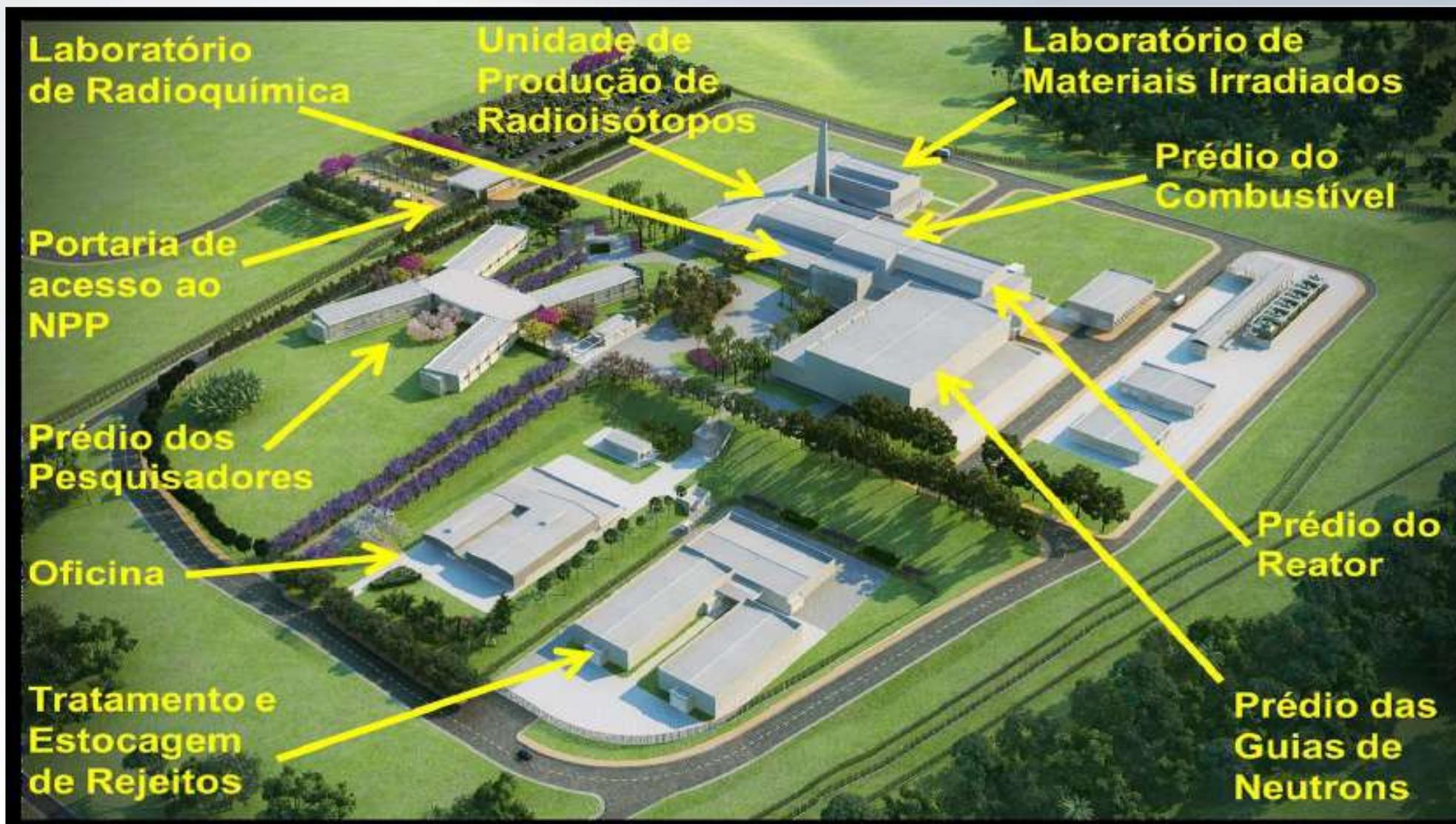


**RMB irá impulsionar o desenvolvimento e a ampliação da medicina nuclear nacional (inicial 1.000 Ci/semana de  $^{99}\text{Mo}$ ) e do uso de técnicas nucleares na indústria e na agricultura**

**RMB irá assegurar a realização dos testes de irradiação do combustível do LABGENE, etapa crítica do PROSUB**



# REATORES NUCLEARES – RMB



# REATORES NUCLEARES – LABGENE

## DESSALINIZAÇÃO NUCLEAR

- **Reator Nuclear Geração G II**
- **Tecnologia Nacional (Marinha/CNEN/Universidades)**
- **Dessalinização de água do mar ou salobra (destilação por membranas)**
- **Cogeração de Eletricidade**
- **Empreendimento socioeconômico (agricultura, pecuária e agroindústria)**



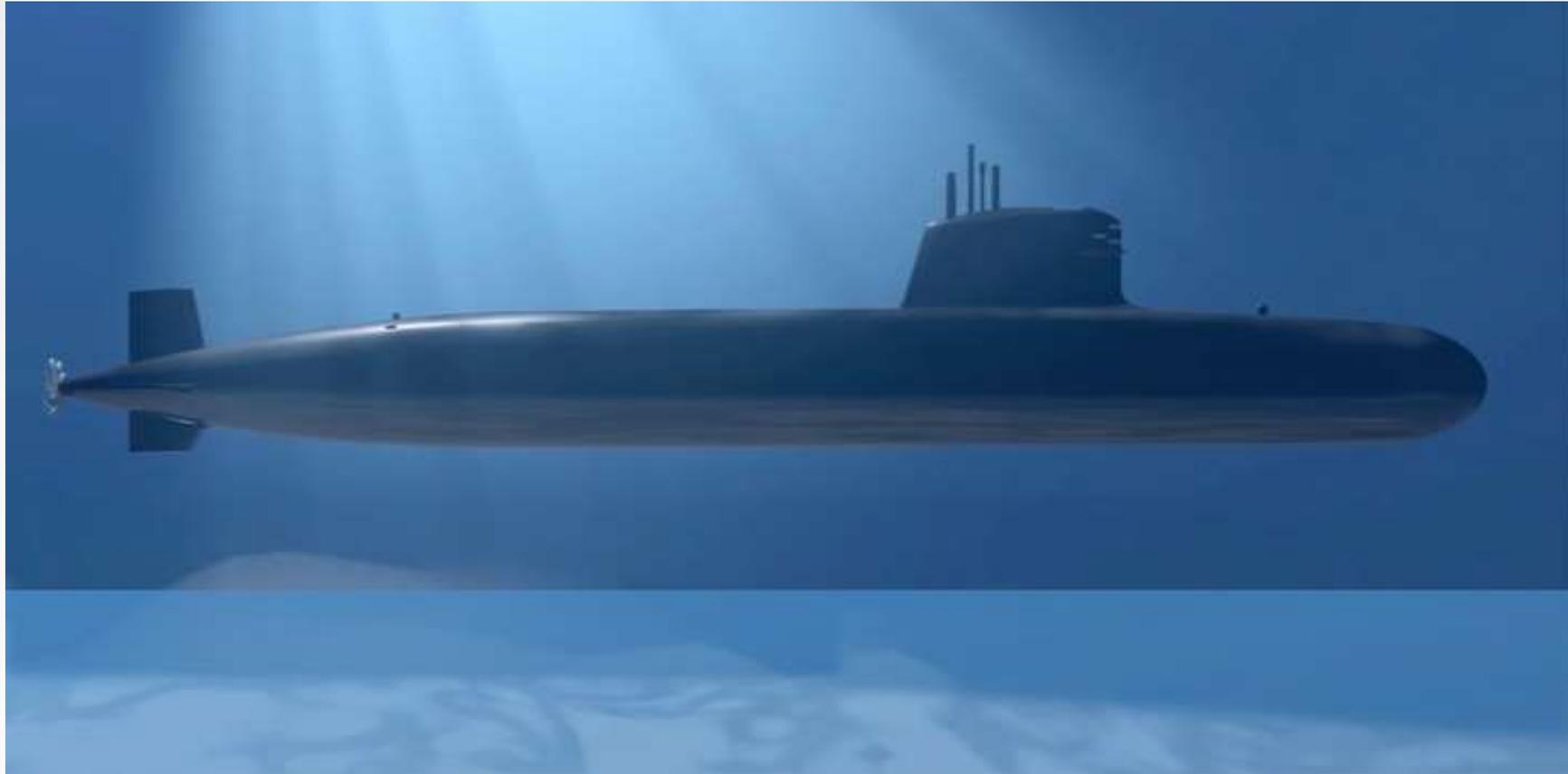
# PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO CICLO COMPLETO DO COMBUSTÍVEL TECNOLOGIA NACIONAL - **DUALIDADE**



**INDÚSTRIA NUCLEAR BRASILEIRA**  
**MARINHA DO BRASIL**  
**DUALIDADE**

O PROGRAMA NUCLEAR DA MARINHA-PNM INTEGRA O PROGRAMA NUCLEAR BRASILEIRO-PNB, RECENTEMENTE REFORMULADO POR SEU COMITÊ DE DESENVOLVIMENTO-CDPNB, COORDENADO PELO GABINETE DE SEGURANÇA INSTITUCIONAL-GSI.

# SEGURANÇA NUCLEAR – Agência Naval de Segurança Nuclear e Qualidade - AgNSNQ

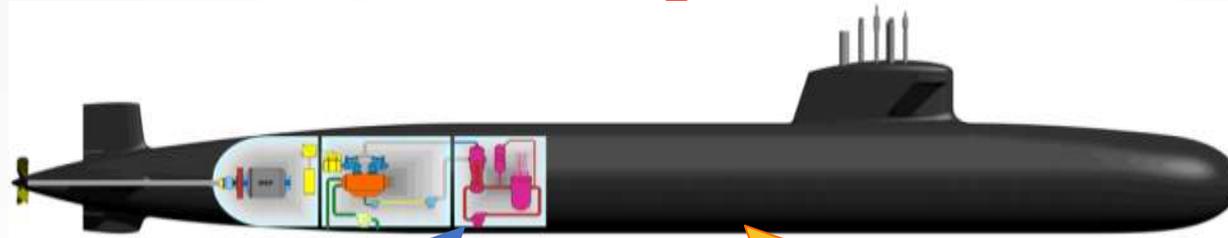


**LICENCIAMENTO, FISCALIZAÇÃO, EMERGÊNCIAS NUCLEARES**  
Lei 13976/2020

# AgNSNQ – BASE CONCEITUAL

- O submarino com propulsão nuclear representa um desafio para o **licenciador**, pois emprega um reator nuclear em uma embarcação; e não numa instalação **fixa** em terra!
- Nesse caso, **deve-se conjugar** a segurança nuclear com a segurança naval, de forma integrada, a fim de garantir a capacidade operacional segura do conjunto!

## Licenciamento Integrado do SN-BR



AgNSNQ

Normas e protocolos de segurança nuclear & radioproteção

+

Normas e protocolos de projeto, construção e manutenção; doutrinas de operação e de emprego de meios

# AgNSNQ – MODELO DE GOVERNANÇA PARA REGULAÇÃO, LICENCIAMENTO E FISCALIZAÇÃO

## Autoridade Naval

ANSNQ



AgNSNQ



COGESN



SN-BR



ComForS

Duas autoridades independentes, atuando de forma coordenada.

Coerente com os modelos adotados nos demais países que constroem e que operam SB-N.

## Autoridade Civil



**CNEN**  
Comissão Nacional de Energia Nuclear



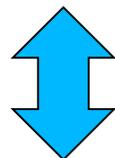
CTMSP



Complexo Naval de Itaguaí

# AgNSNQ – CRIAÇÃO DO CENTRO DE RESPOSTAS A EMERGÊNCIAS NUCLEARES

CARE- Centro de Acompanhamento de Respostas a Emergências Nucleares e Radiológicas Navais



## ATUAÇÃO EM 5 CONTEXTOS



Destina-se a acompanhar e apoiar a execução de um Plano de Emergência (Local) atinente a uma ENRN que ocorra em um dos cinco contextos, de modo a prover apoio a decisão à ANSNQ e à outras autoridades por ela convidadas.



ÓLEO SOBRE TELA, SANSÃO PEREIRA

**Grato pela atenção**  
**[carlos.aragao@marinha.mil.br](mailto:carlos.aragao@marinha.mil.br)**  
**[www.agnsnq.mb.br](http://www.agnsnq.mb.br)**

