# A Energia Nuclear & Fukushima

Eletrobras
Eletronuclear

**Museu de Ciências Nucleares**
**Universidade Federal de Pernambuco**
**UFPE**

**29/07/2011**

**José Manuel Diaz Francisco**
**Coordenador de Comunicação e Segurança**

# UMA PERSPECTIVA DA EMPRESA

Ministério de Minas e Energia

Eletrobras

Eletrobras
Eletronuclear

**GERAÇÃO**

**TRANSMISSÃO**

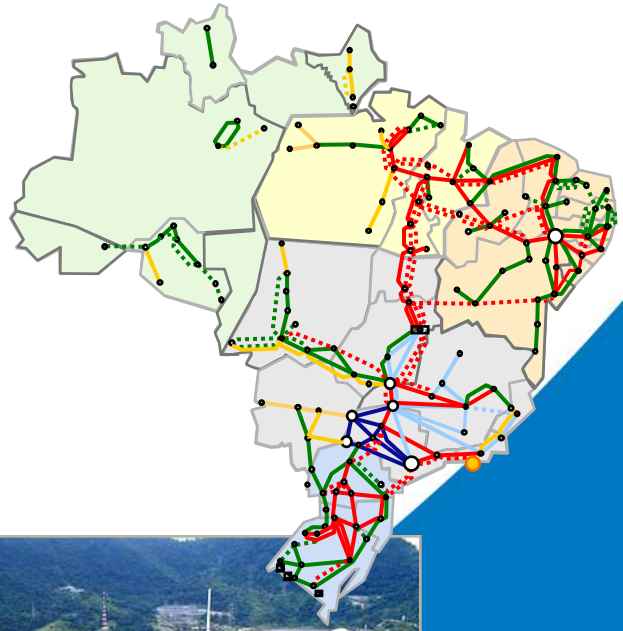
**DISTRIBUIÇÃO**

**Concessionárias**

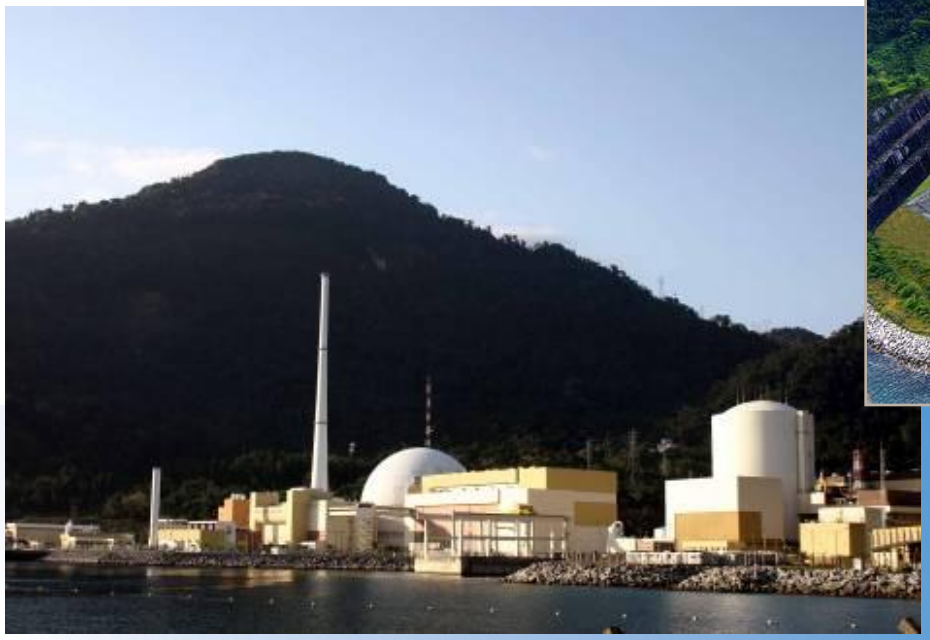
**CONSUMIDORES**

- **Industriais**
- **Residenciais**
- **Comerciais**
- **Outros**

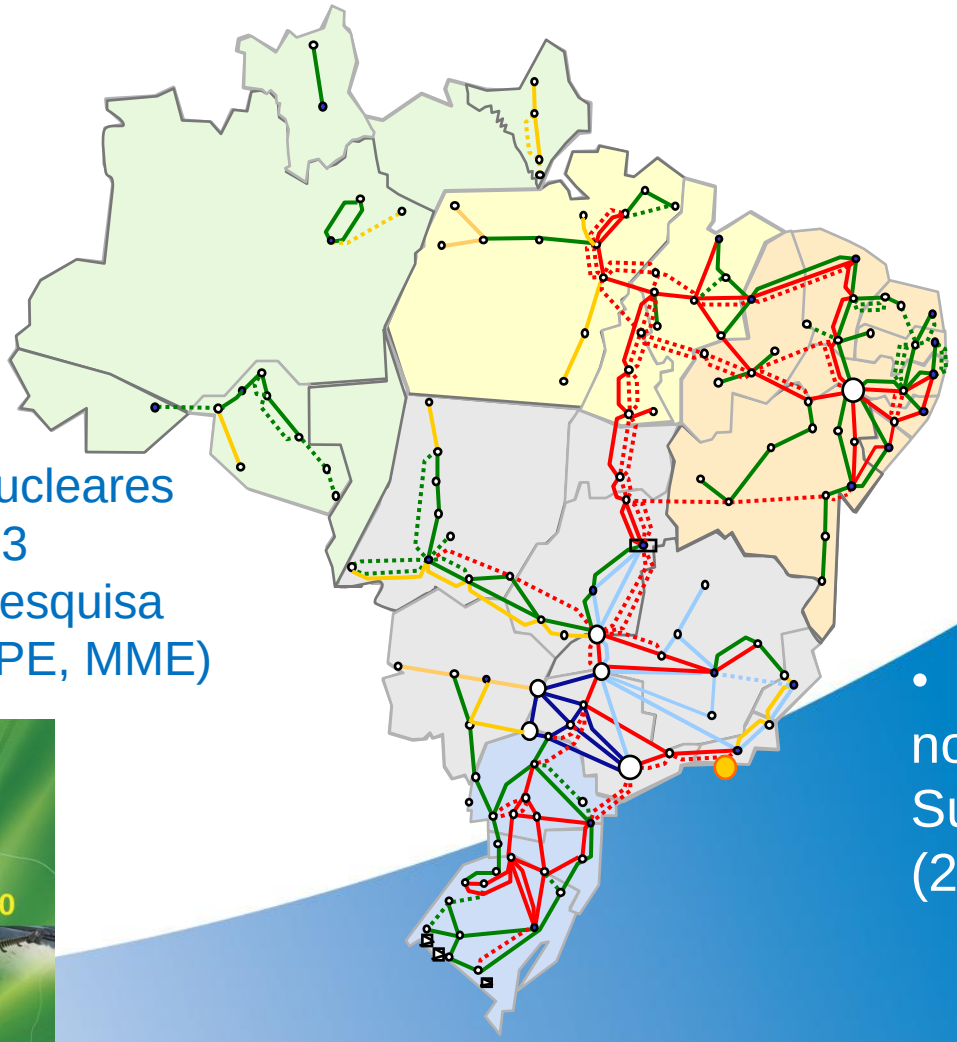
# UMA PERSPECTIVA DA EMPRESA



Eletrobras
Eletronuclear



# UMA PERSPECTIVA DO PROGRAMA NUCLEAR



- Convênio com a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência de República: novos sítios no Nordeste e Norte (2010)

PNA 2030:
4 a 6 Usinas Nucleares além de Angra 3 (Empresa de Pesquisa Energética – EPE, MME)

- Convênio com a EPE: novos sítios no Sul, Sudeste e Centro-oeste (2010)

- **Após Fukushima, Presidência da República confirma manutenção do Programa Nuclear**

# UMA PERSPECTIVA DA EMPRESA

**ANGRA 2**

**Potência:** 1.350 MW
**Tecnologia:** Siemens/KWU
**Operação:** Janeiro/2001

**ANGRA 1**

**Potência:** 640 MW
**Tecnologia:** Westinghouse
**Operação:** Janeiro/1985

**Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto**

# Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto CNAAA

**ANGRA 3**

| | |
|---|---|
| **Potência:** | **1.350 MW** |
| **Tecnologia:** | **Siemens/KWU** |
| **Operação:** | **2015** |

**CNAAA responsável pelo equivalente a 32% do consumo do Est. RJ**

**Com Angra 3 - 70% *(valores de 2010)***

# SEGURANÇA OPERACIONAL

**Consiste em assegurar que as diversas formas de operação da instalação não acarretem nenhum dano**

**ao trabalhador,**

**à sociedade e**

**ao meio ambiente.**

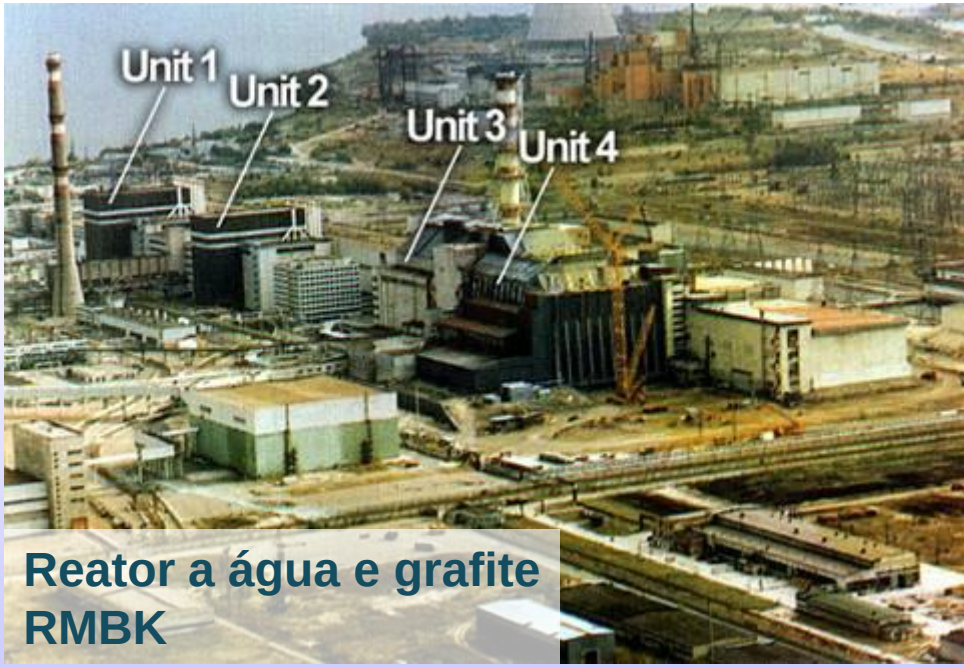
# CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS

## 1979: Acidente em Three Mile Island 2, USA

## - Fatores Humanos

## 1986: Acidente em Chernobyl 4, Ucrânia

## - Fatores Humanos e Organizacionais




Reator a água e grafite RMBK

# CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS - FATOS NOVOS

## 03/2011: Fukushima Daiichi - BWR, Japão

# CONSIDERAÇÕES HISTÓRICAS

**CHERNOBYL: A *International Atomic Energy Agency* (IAEA) desenvolve estudo das causas do evento.**

**Criado o *International Nuclear Safety Advisory Group* (INSAG), que indicou:**

**CULTURA DE SEGURANÇA DEFICIENTE EM CHERNOBYL**

**IAEA**

**Emitido o documento *Nº 75-INSAG-4, Safety Culture***

# CULTURA DE SEGURANÇA

**IAEA Safety Series Nº 75-INSAG-4 define *Cultura de Segurança* como:**

**"O conjunto de características e atitudes nas organizações e indivíduos que estabelece como prioridade absoluta que assuntos relacionados com a segurança recebam atenção compatível com a importância dos mesmos".**

**Aplicabilidade:**
- **Desenvolvimento do projeto**
- **Construção e comissionamento da instalação**
- **Operação normal**
- **Operações especiais:** *partida, testes e paradas*
- **Evolução do projeto e da operação**
- **Situações de emergência**
- **Descomissionamento da instalação**

# Segurança Integrada

**Deve haver uma consideração transversal que inclua todos os aspectos da segurança, para assim estabelecer uma verdadeira Cultura de Segurança.**

**. Segurança Nuclear**
**. Segurança Radiológica**
**. Segurança Industrial**
**. Segurança Ambiental**
**. Segurança Física**
**...**

# O “Iceberg”

- Consequências da Segurança ou da falta de Segurança
- Palavras, idioma, imagens
- Comportamento
- Objetivos físicos

Visível

Obscuro

- Idéias
- Crenças
- Considerações fundamentais
- Considerações organizacionais

# CULTURA DE SEGURANÇA

## Compromisso Individual

- Atitude Questionadora
- Tomada de Ação Prudente e Rigorosa
- Comunicação

## Compromisso do Gerente

- Definição de Responsabilidades
- Identificação e Controle de Práticas de Segurança
- Treinamento e Qualificação
- Méritos e Penalidades
- Auditorias, Revisões e Comparações
- Comunicação

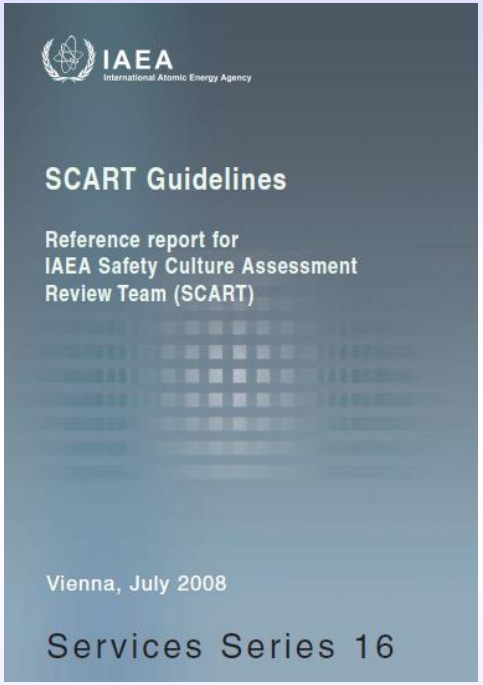
## Compromisso da Organização

- Política de Segurança Explícita
- Estruturas Gerenciais
- Recursos
- Auto-regulação
- Comunicação

# CARACTERÍSTICAS DA CULTURA DE SEGURANÇA DE UMA ORGANIZAÇÃO

**(GS-G-3.1)**

- A Segurança é um valor forte
- A responsabilidade pela Segurança é claramente definida
- A Segurança é integrada em todas as atividades
- A liderança é claramente baseada na Segurança
- Constante busca do aprendizado *(learning organization)*




***Cada Característica tem diversos Atributos***

# Exemplos de Boas Práticas

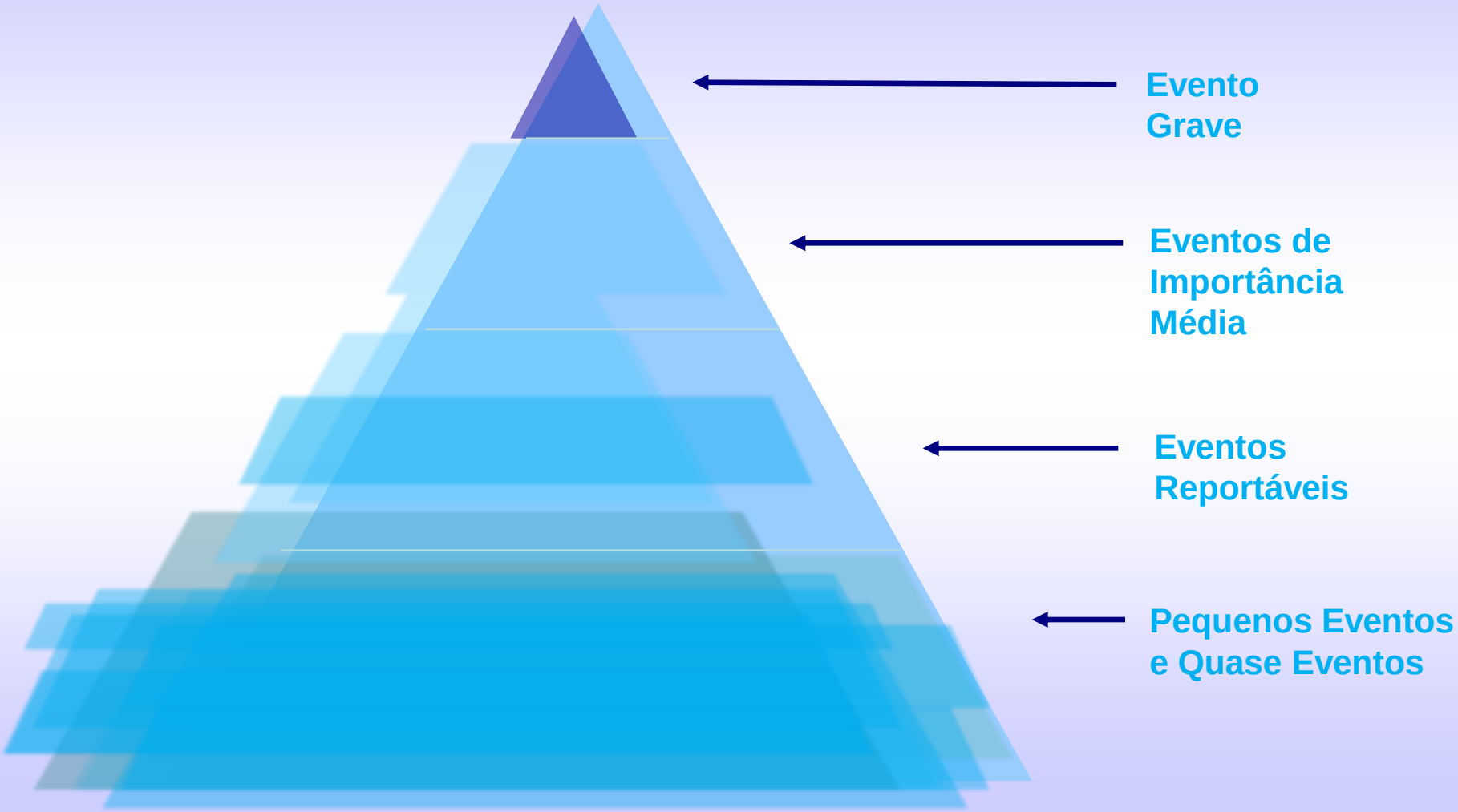
- **Políticas de Segurança**
- **Revisões Sistemáticas**
- **Cultura de Segurança**
- **Programas Internacionais (IAEA, WANO)**
- **Planejamento do Trabalho & Análise de Riscos**
- **Medidas e Procedimentos para Situações de Desvios**
- **Fatores Humanos, Procedimentos, Ergonomia, Treinamentos**
- **Gerenciamento do Conhecimento**
- **Planos de Ações Corretivas**
- **Programas de Manutenção de Configuração**
- **Programas de Melhoria da Comunicação Interna e Externa**
- **Indicadores de Performance**

*(continua)*

# Exemplos de Boas Práticas

*(continuação)*

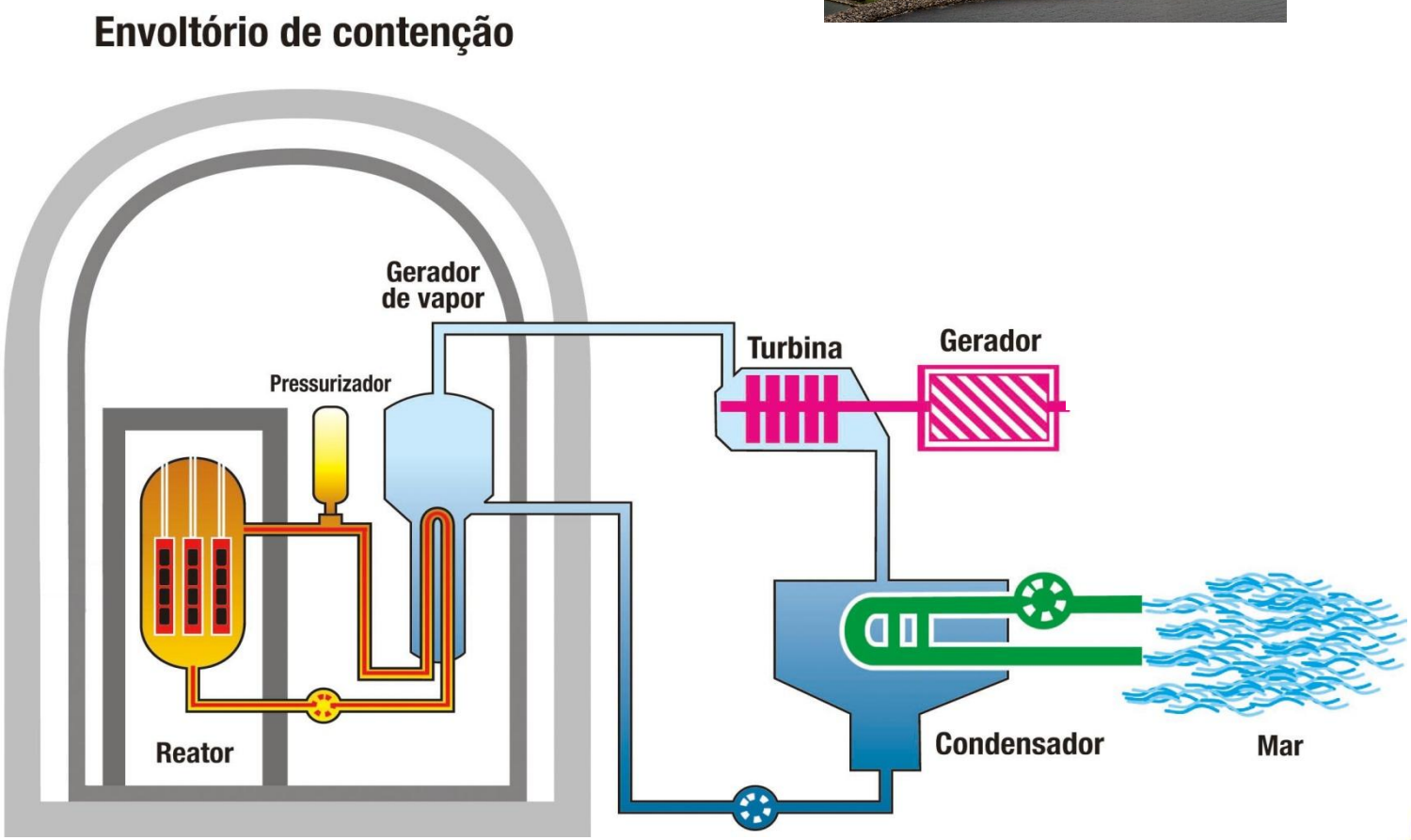
- **Programa de Experiência Operacional Interna & Externa**



- **Impactos:**
  - **segurança**
  - **econômico**
  - **operação**
  - **...**

- **Entender as lições desses eventos e aplicá-las é fundamental para todo/a profissional, público & meio ambiente**

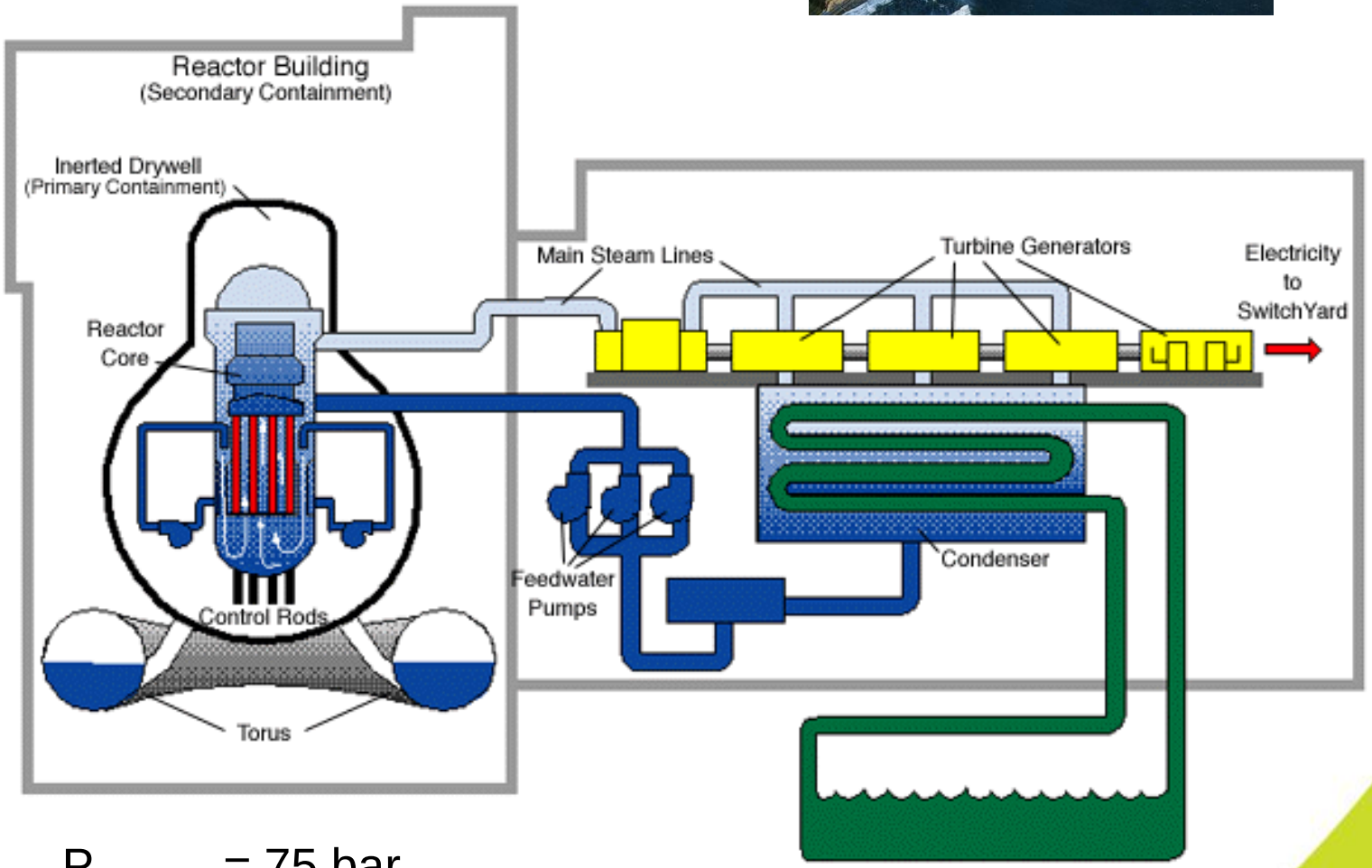
# USINA PWR
## *(Pressurized Water Reactor)*




$P_{primário}$ = 158 bar

$T_{primário}$ = 326 $^{o}C$

# USINA BWR
## *(Boiling Water Reactor)*




$P_{primário} = 75$ bar

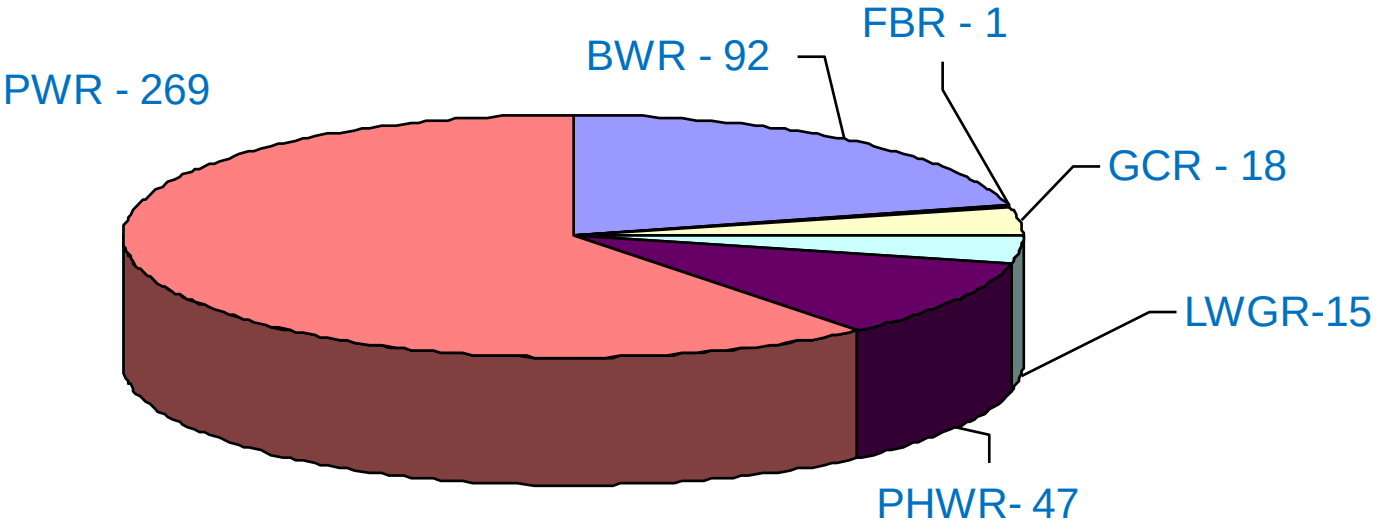
$T_{primário} = 285\ ^{o}C$

# Geração Nucleoelétrica no Mundo

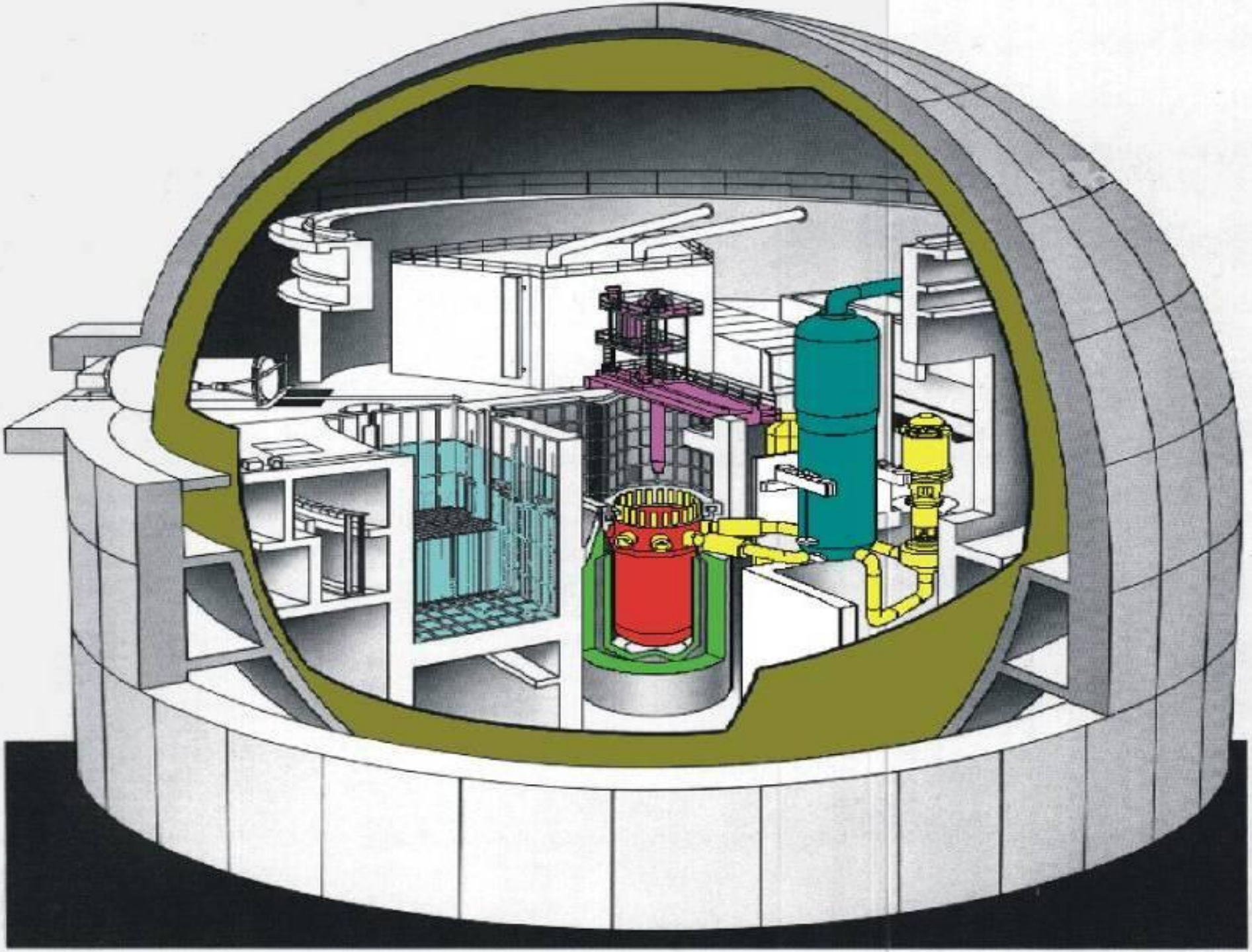
Reatores a Água Leve (PWR e BWR): ~ 80%

PWR: ~60%

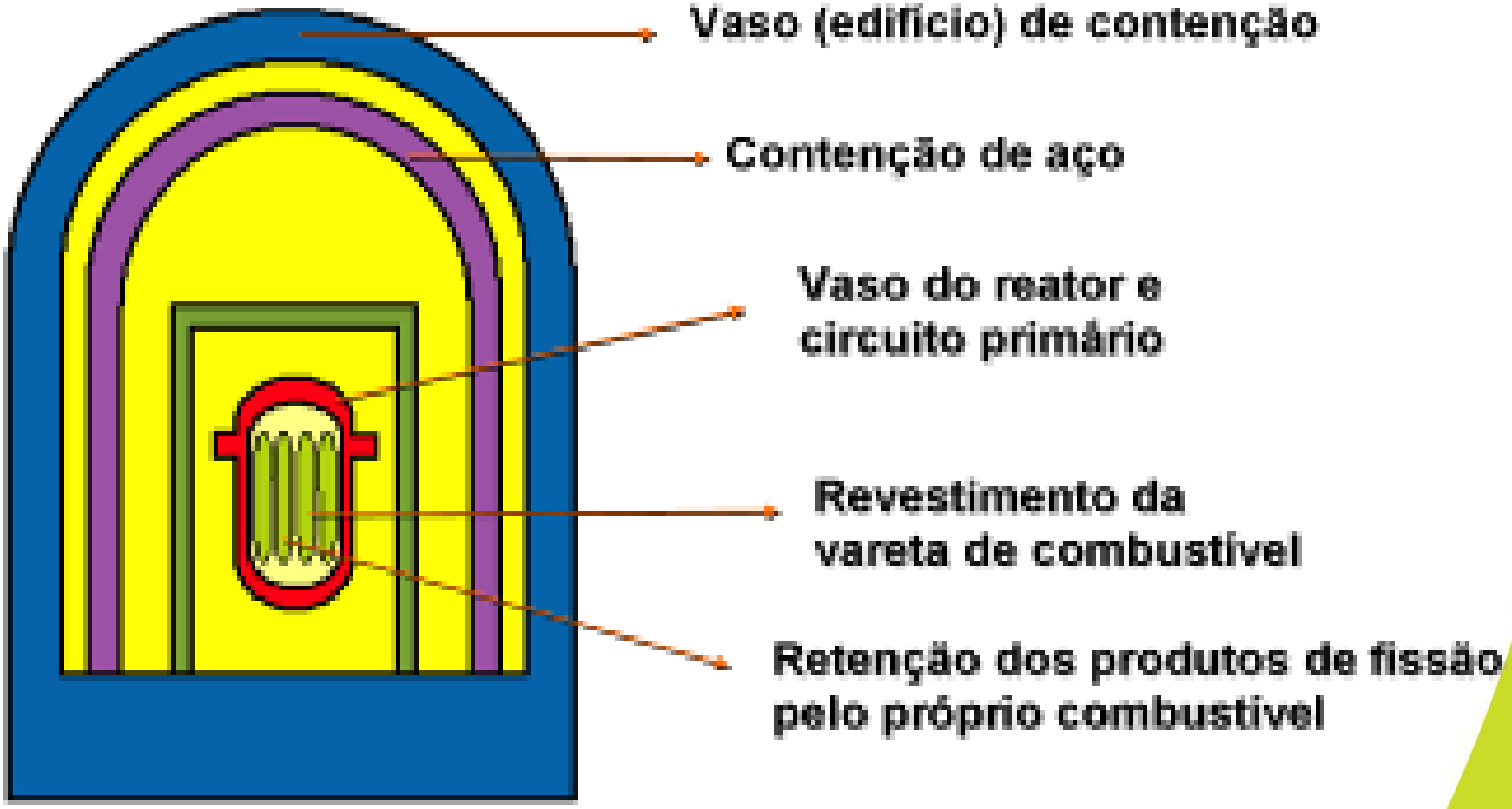
**442 Reatores em Operação por Tipo**



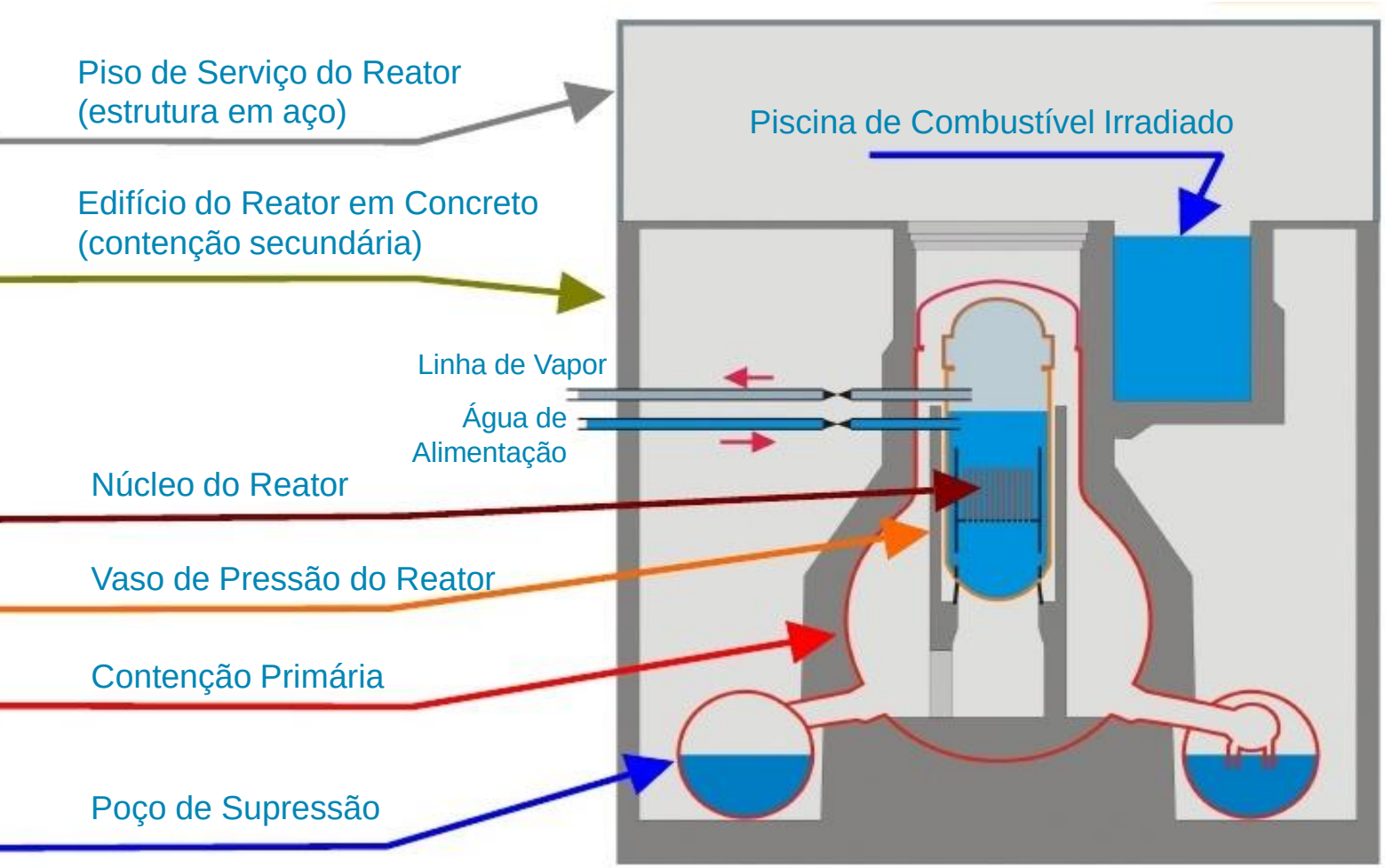

**AIEA Março 2011**



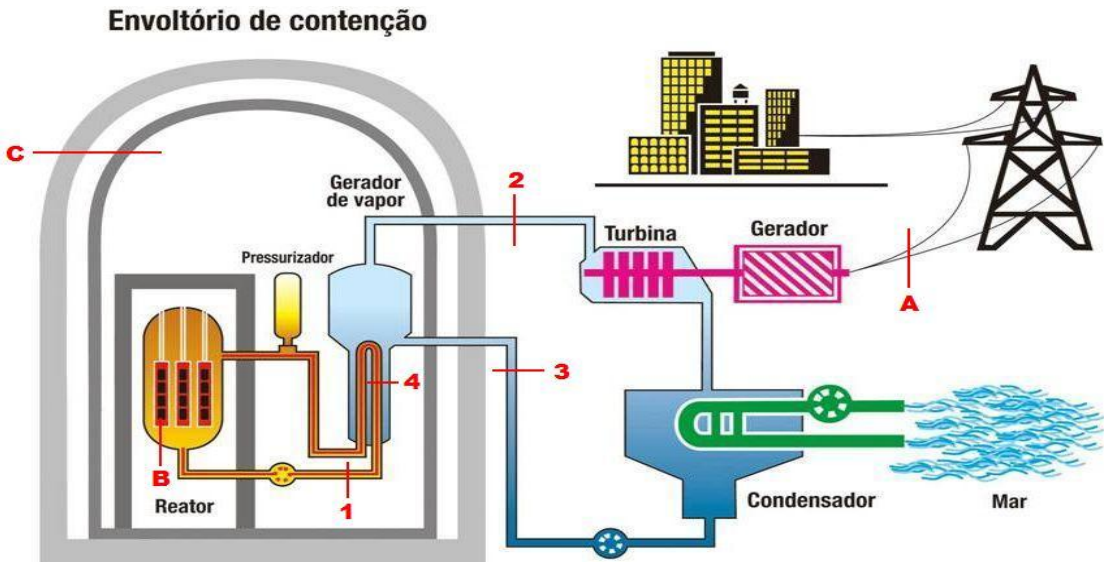
# Proteção ao Público e Meio Ambiente em Reatores a Água Leve (exemplo: PWR)



# Fukushima Daiichi – Prédio do Reator



# PWR – Acidentes Base de Projeto



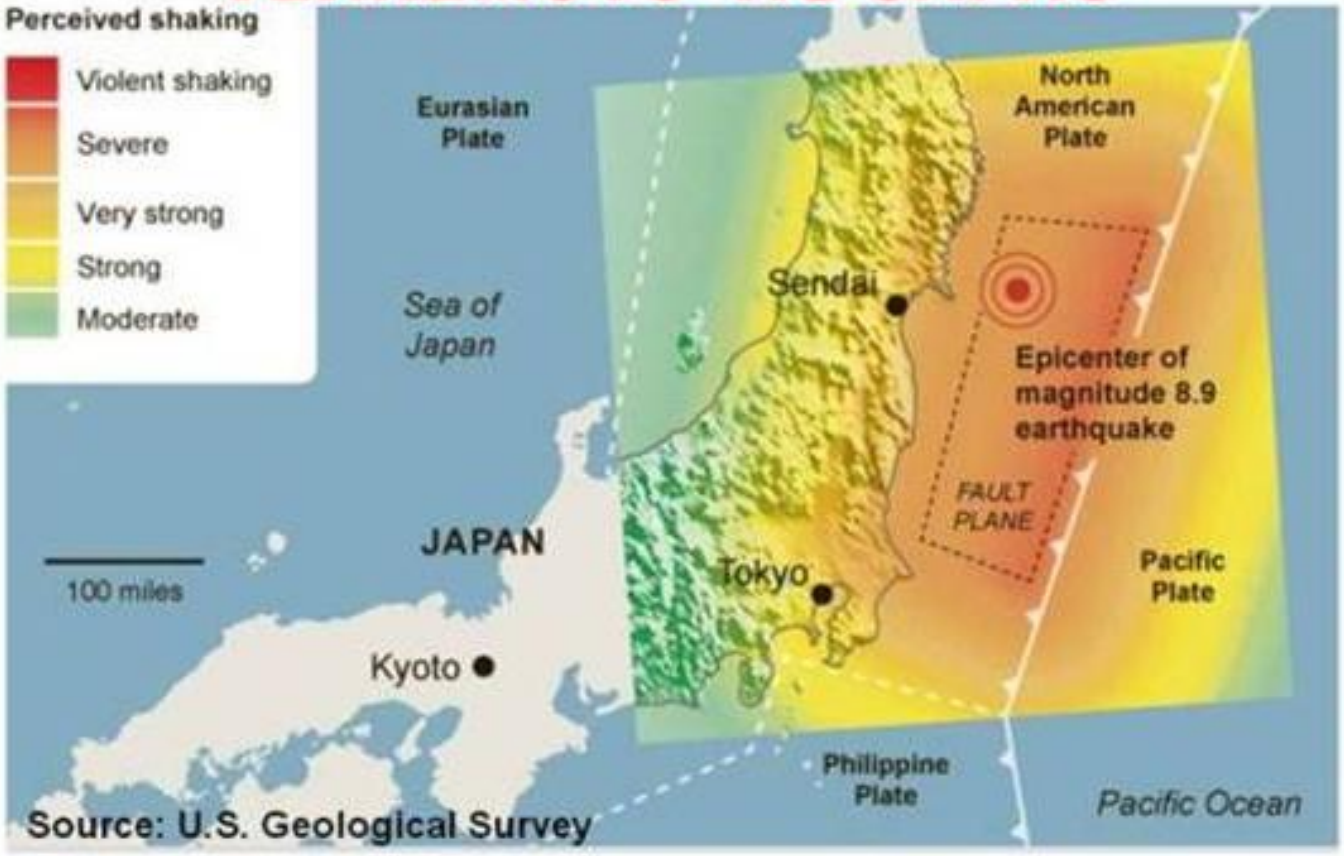

| | | |
|---|---|---|
| EXEMPLOS DE | 1 | Tubulação de Refrigeração do Reator |
| ACIDENTES | 2 | Tubulação de Vapor |
| COM RUPTURA | 3 | Tubulação de Água de Alimentação |
| DE: | 4 | Tubo do Gerador de Vapor |

**Condições postuladas:**

A - Falha da Alimentação Elétrica Externa
B - Falha de Elemento Combustível
C - Vazamento da Contenção

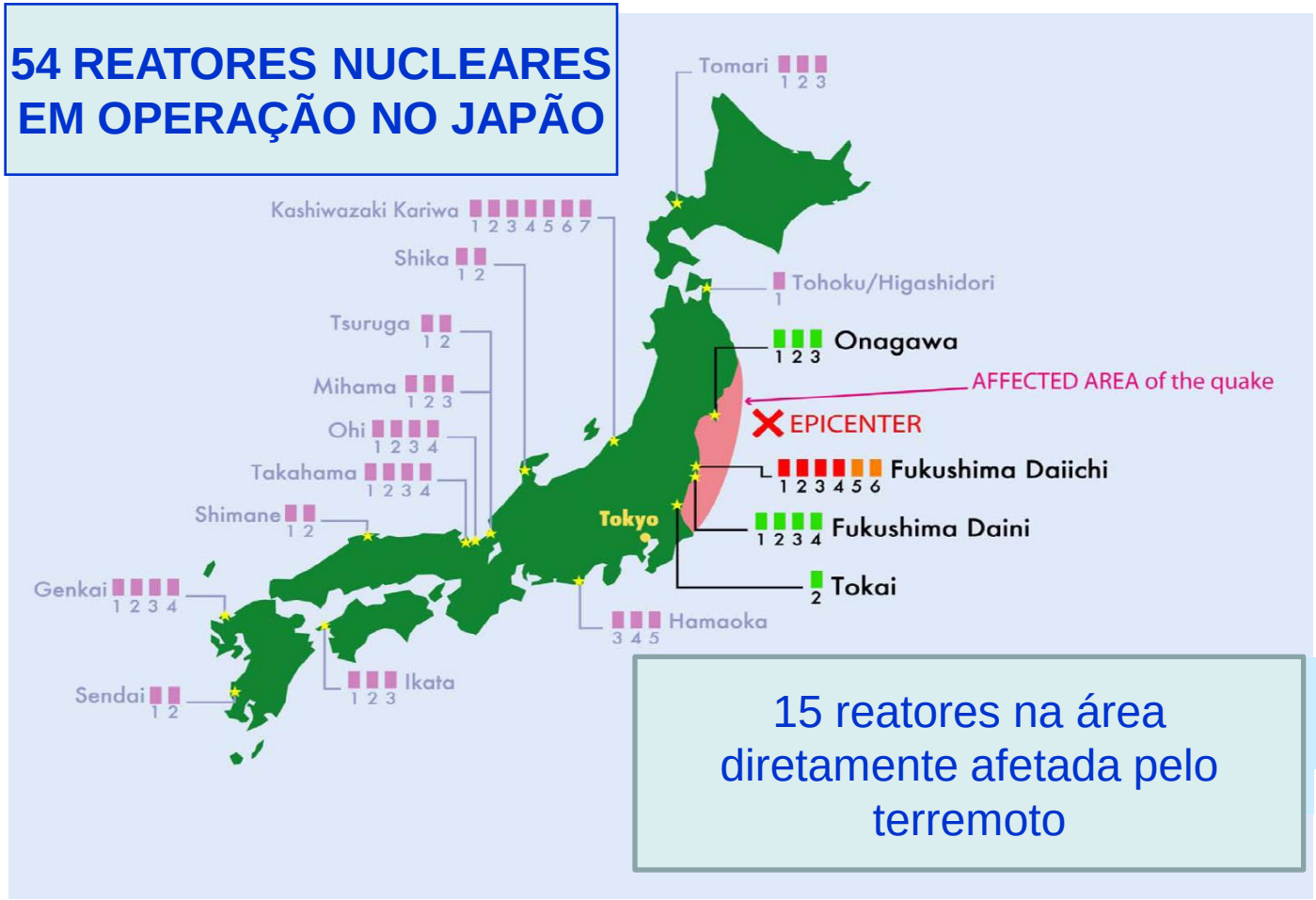
**Demonstração da capacidade de desligamento seguro mesmo em condições de determinadas configurações de falhas de equipamentos de segurança**
**Probabilidade de fusão do núcleo: 5 x $10^{-6}$ / reator.ano**

# TERREMOTO NO JAPÃO




**Às 14:46 do dia 11/03/2011, o nordeste do Japão foi atingido por um terremoto de 8,9 graus na escala Richter, com epicentro próximo da costa.**

# 54 REATORES NUCLEARES EM OPERAÇÃO NO JAPÃO

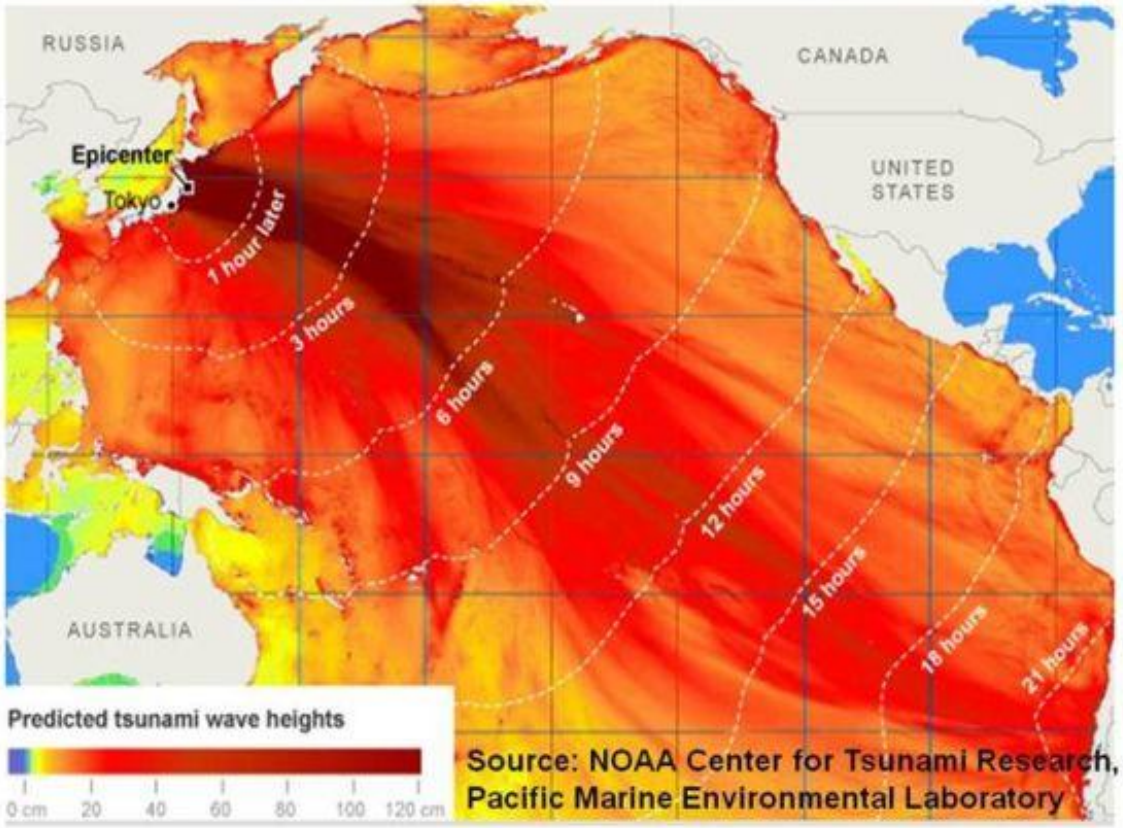



15 reatores na área diretamente afetada pelo terremoto

# Resposta das Usinas ao Terremoto

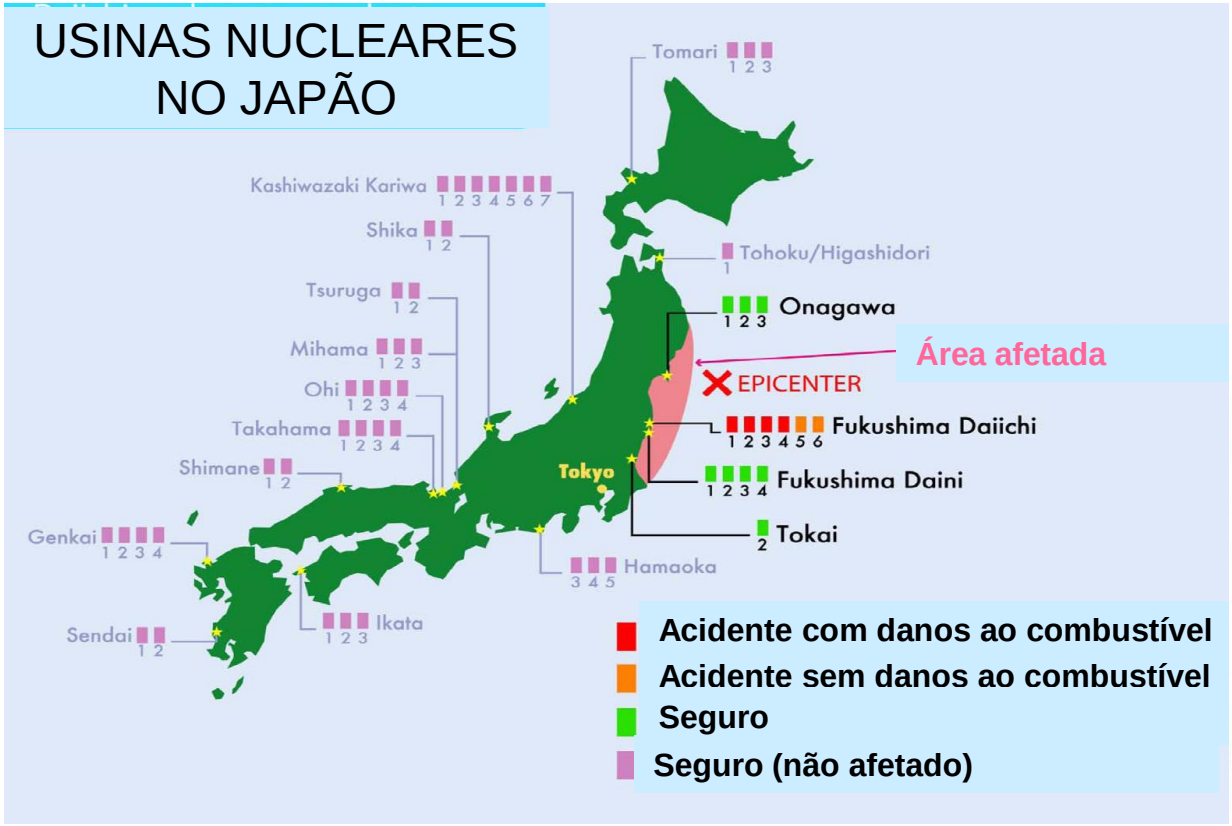
- As Usinas são atingidas pelo terremoto
- Rede externa de suprimento de energia colapsa
- Reatores são desligados automaticamente
- Potência térmica cai para calor de decaimento
- Envoltório de Contenção isolado automaticamente
- Geradores diesel de emergência partem automaticamente
- Refrigeração do núcleo mantida (sistemas de segurança)
- Usinas em condição segura e estável

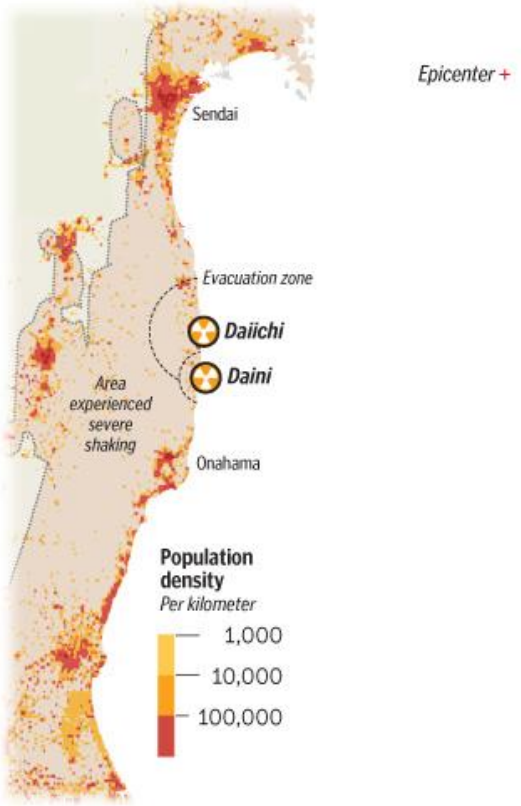
# TSUNAMI NO JAPÃO




**Cerca de 1 hora após o terremoto, ocorre uma onda tsunami que alcançou 10 metros de altura, penetrando vários quilômetros terra adentro.**

# USINAS NUCLEARES NO JAPÃO




**As 8 usinas das centrais nucleares de Onagawa, Fukushima Daini e Tokai resistiram a mais esse evento.**

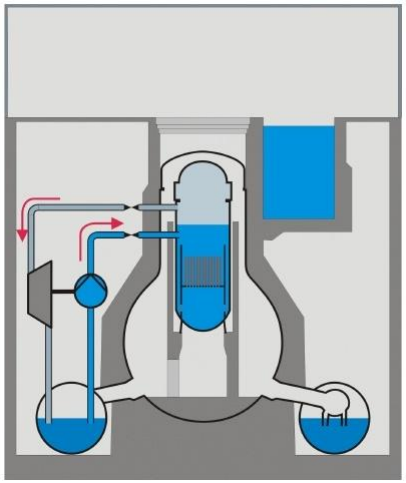
**4 usinas de Fukushima Daiichi não resistiram**

**- todos os grupos diesel atingidos**
**- tanques de óleo diesel destruídos**
**- sistemas de segurança sem suprimento elétrico**
**- refrigeração do núcleo dos reatores comprometida**

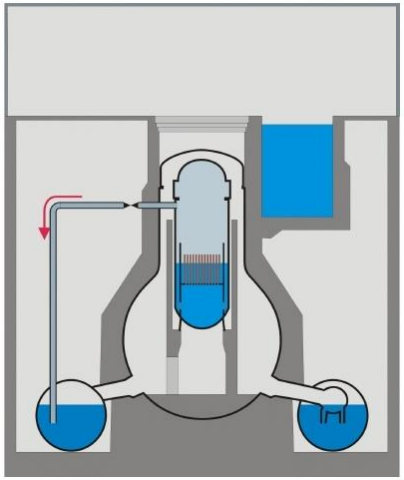
# TERREMOTO E TSUNAMI PROVOCARAM

| | |
|---|---|
| Mortos: | 14.981 |
| Desaparecidos: | 9.853 |
| Feridos: | 5.280 |

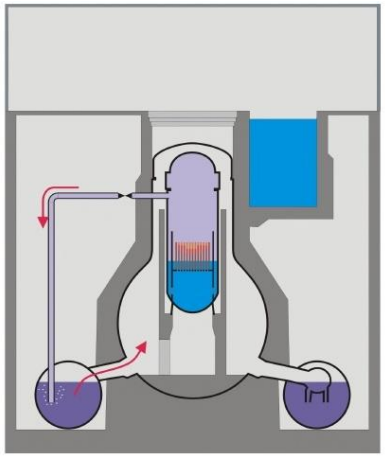
**O grave acidente nuclear de Fukushima não provocou nenhuma vítima fatal, nenhuma dose danosa e nenhum desalojamento sem abrigo**



refrigeração do reator mantida por certo tempo por bomba acionada por turbina a vapor; dependência de baterias

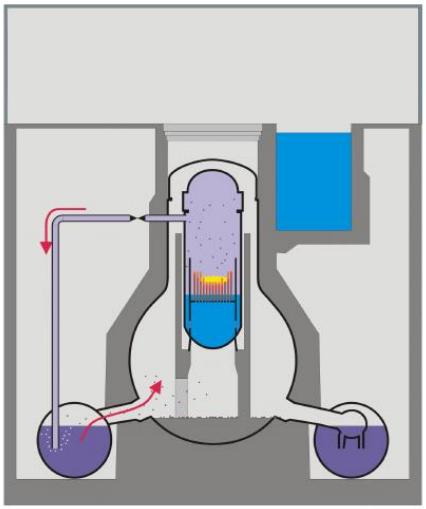


bomba falha na unidade 2 e baterias descarregam nas unidades 1 e 3; pressão aumenta; pressão aliviada para o poço de supressão; nível no reator começa a baixar.

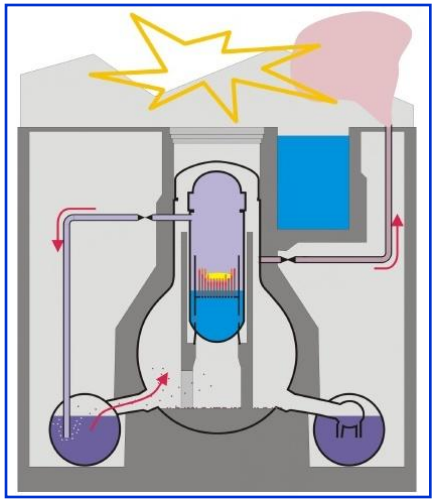


até ¾ combustível descoberto; temperatura nas varetas de combustível excede 1200ºC; reação zircônio-água começa a produzir hidrogênio livre; hidrogênio penetra o poço seco via o poço de supressão

# Resumo simplificado da evolução do acidente



temperaturas no combustível atingem 2700ºC; fusão parcial do combustível; liberação de materiais radioativos para poço de supressão e daí para o poço seco; aumento de pressão na contenção (100% acima do projeto)



alívio da contenção para a atmosfera nas três unidades; liberação de materiais radioativos para o meio ambiente; explosão de hidrogênio no piso de serviço (unidades 1 e 3) e no poço de supressão (unidade 2); dano às piscinas de combustível com comprometimento da refrigeração

MISSION REPORT

THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE
EXPERT MISSION

# IAEA INTERNATIONAL FACT FINDING EXPERT MISSION OF THE FUKUSHIMA DAI-ICHI NPP ACCIDENT FOLLOWING THE GREAT EAST JAPAN EARTHQUAKE AND TSUNAMI

**Tokyo, Fukushima Dai-ichi NPP, Fukushima Dai-ni NPP and Tokai Dai-ni NPP, Japan**

***24 May – 2 June 2011***

IAEA MISSION REPORT

DIVISION OF NUCLEAR INSTALLATION SAFETY

DEPARTMENT OF NUCLEAR SAFETY AND SECURITY

# IAEA Fact-Finding Team Visit

The team: Argentina, China, France, Hungary, India, Indonesia, Russia, South Korea, Spain, Turkey, United Kingdom and the USA.

## Draft report summary:

- **Response** to the nuclear accident has been exemplary ... working under exceptional circunstances

- **Long-term response**, including the evacuation of the area around stricken reactors, has been impressive and well organized

- The **tsunami hazard** for several sites was **underestimated**. Nuclear plant **designers and operators** should appropriately evaluate and protect against the risks of all natural hazards, and should **periodically update** those assessments and assessment methodologies

- **Nuclear regulatory** systems should address extreme events adequately

# IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety

*20-24 June 2011*

**Objectuve: to develop an Action Plan for the IAEA Board of Governors and the General Conference**

## Declaration on Nuclear Safety:

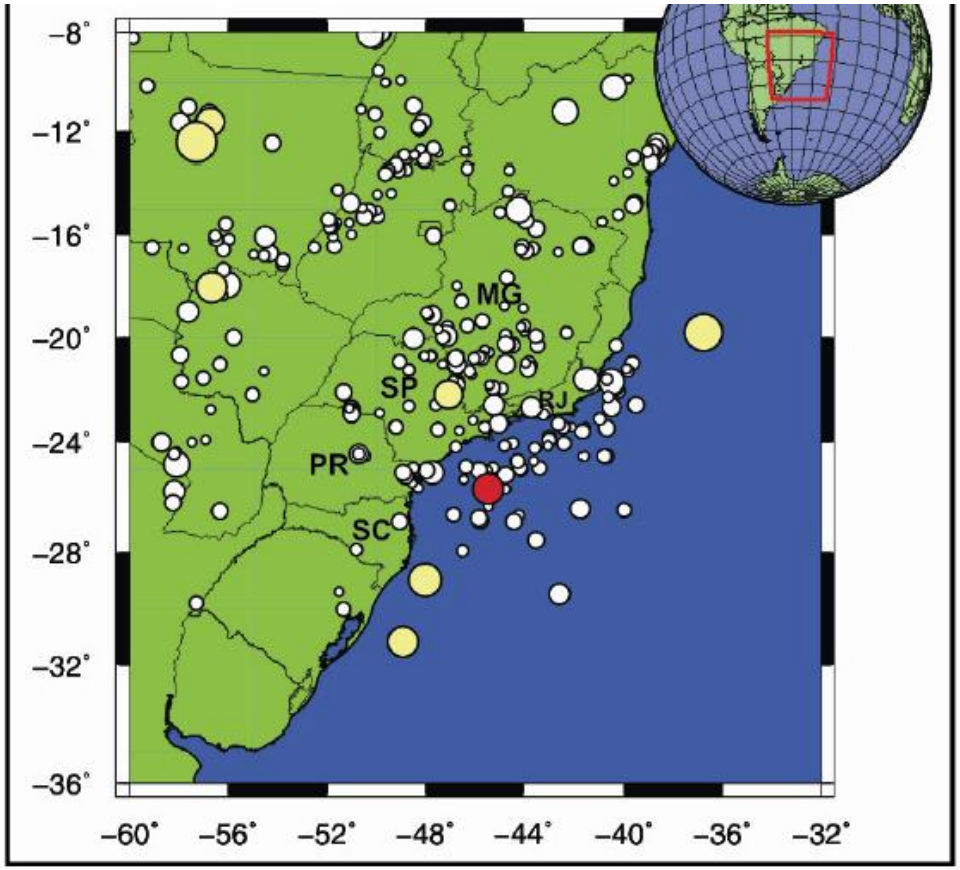
- **called for a number of improvements to global nuclear safety**

- **stressed the need to receive from Japan & IAEA a comprehensive and fully transparent assessment to be able to act upon the lessons learned**

- **stressed the need to review the relevant IAEA safety standards, in particular those pertaining to multiple severe hazards**

- **underlined the benefits of strengthened and high quality independent international safety expert assessments, in particular within the established IAEA framework**

# Consideração de Terremotos e de Movimentos de Mar no Projeto na CNAAA




Projeto toma por base os registros históricos de ocorrência de sismos (área de interesse ~300km em torno da instalação)

**Principais terremotos**

- 1922 - Pinhal, SP, 5.1 $m_b$
- 1939 - Tubarão, SC, 5.5 $m_b$
- 1955 - Serra Tombador, MT, 6.6 $m_b$
- 1955 - Alto Vitoria Trindade, 360 km offshore, 6.3 $m_b$
- 1967 - Cunha, SP - 4.1 $m_b$
- 2008 – São Vicente – 5.2 $m_b$

Critério de projeto: maior terremoto ocorrido na área de interesse e aplicado ao local da instalação ⇨ 0,067g de aceleração na superfície da rocha:

# Usinas de Angra – Projeto para Terremotos

- usinas projetadas para assegurar desligamento seguro do reator em condições de abalo sísmico que produzam acelerações de até 0,1g na superfície da rocha (mínimo aceitável por norma para instalações nucleares)

- maior evento registrado no sítio das usinas foi 0,0017g (< 2% da aceleração de projeto)

# Condições para Ocorrência de Tsunamis

## Tsunamis:

- terremotos de magnitude superior a grau 7;

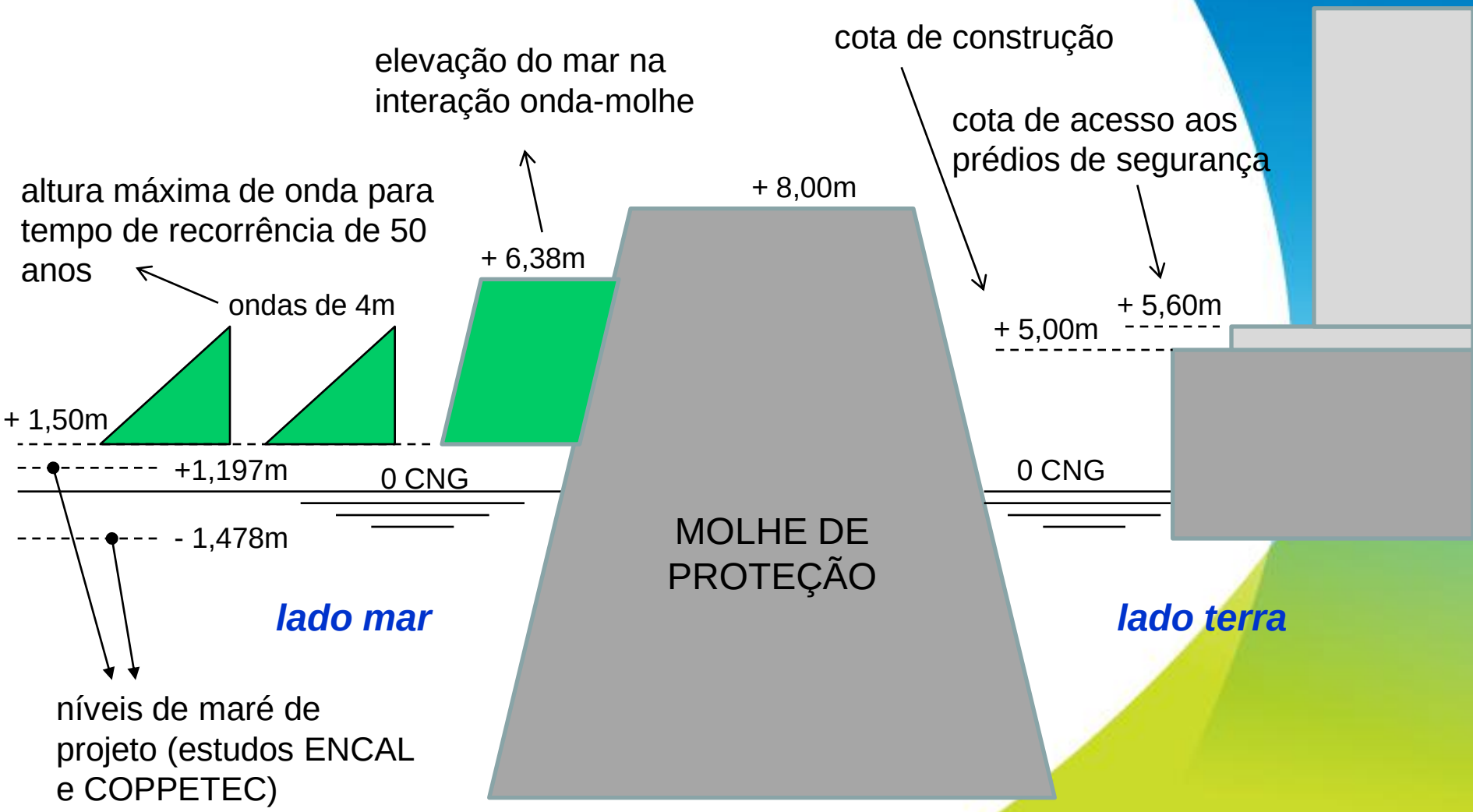
- ocorrência no mar, profundidades inferiores a 100km;

- regiões de borda de placas tectônicas com movimento de sobreposição

## Excluída a possibilidade de tsunamis no Brasil

- costa brasileira distante de bordas de placas tectônicas;
- placas tectônicas no Atlântico Sul em movimento de afastamento
- sismo potencial máximo no oceano: 7,0

# Proteção contra Movimentos de Mar




Projeto do Molhe para contenção de ondas de até 4m

# Proteção Contra Ameaças Geotécnicas (deslizamento de encostas)

# Ações em Curso na ELETRONUCLEAR para Avaliação das Condições de Projeto das Usinas de Angra frente a Eventos Externos

- verificação de dados sismográficos e oceanográficos de estudos de implantação e operação de plataformas off-shore da Petrobrás;

- implantação de rede de monitoração de ondas;

- estudos de evolução de ondas considerando simulação da ocorrência de ondas de 7m na entrada da baía da Ilha Grande (ondas só registradas em alto-mar);

- estudos de formação de ondas pela incidência de ciclones, simulando sua ocorrência entrada da baía da Ilha Grande;

- estudos de estabilidade estática e dinâmica do molhe de proteção;

- estudos de inundação do site considerando evento de obstrução de canais e redes de drenagem;

- verificação independente dos resultados de monitoração e critérios de avaliação do movimento das encostas no entorno das usinas.

# Usinas de Angra
# Suprimento de Energia Elétrica para Auxiliares

| FONTE DE SUPRIMENTO | CONDIÇÃO DE SUPRIMENTO | ANGRA 1 | ANGRA 2 |
|---|---|---|---|
| Filosofia de Redundância | | 2 X 100% | 4 X 50% |
| Número de Trens de Alimentação | | 2 | 4 |
| Fontes de Alimentação Externas (Off-Site Power) | Condição Normal de Operação e Transientes da Rede Elétrica | Gerador da Unidade, Rede Externa de 500kV e Rede Auxiliar de 138kV | Gerador da Unidade, Rede Externa de 500kV e Rede Auxiliar de 138kV |
| Fontes de Alimentação Internas (On-Site Power) | Acidentes Base de Projeto (Emergency Power Case) | 2 Grupos Diesel (um por trem de alimentação) | 8 Grupos Diesel (dois por trem de alimentação, alimentando barramentos distintos) |
| 3a Fonte | Acidentes Além da Base de Projeto (Station Black Out) | 2 Grupos Diesel (um por trem de alimentação) | 1 Grupo Diesel (em estudo, já incorporada ao projeto de Angra 3) |
| 4a Fonte (Back-Up para Central) | Alternativa de Alimentação para Melhoria de Condições em Situações de Perda de Alimentação Externa | Turbina a Gás ou PCH (em estudo) | |

# Dimensionamento da 4ª Fonte (CNAAA)

- reduzir vulnerabilidades das usinas a perda total de alimentação externa e falha de grupos diesel de emergência em testes em serviço;

-sem requisitos de operação após terremoto;

- possibilidade de alimentação de pelo menos uma Bomba de Refrigeração do Reator de cada unidade (20MW totais), bombas do Ciclo Água Vapor (7MW totais) e outros consumidores essenciais nas três usinas (1MW);

- considerada a potência mínima de 30MW;

- alternativas em estudo: PCH e Turbina(s) a Gás

- instalação da PCH nas bacias dos rios Mambucaba ou Bracuhy (estudos da ENERCONSULT em andamento);

- turbina a gás instalada fixa no site.

# Outras Melhorias em Estudo e/ou Implantação

- em Angra 2:

  - alimentação dos consumidores do Sistema de Alimentação de Emergência 2 pelo Sistema de Alimentação de Emergência 1

(em fase de projeto);

- em Angra 1 e Angra 2:

  - possibilidade de interligação dos Sistemas de Alimentação de Emergência das duas usinas;
  - instalação de meios fixos (cabos e conexões) para possibilitar maiores alternativas de utilização dos 16 Grupos Diesel da Central (com Angra 3);
  - proteções adicionais para fenômenos climáticos além das bases de projeto.

# Dez maiores economias do mundo

## Domínio do ciclo do combustível e geração de energia elétrica nuclear

| Rank PIB PPPC | País | Armamento Nuclear | Dominio do Ciclo de Combustível | Reatores de Pesquisa em operação | Usinas Nucleares em operação (+ em construção) | Potência Instalada Mw(e) | Participação na Geração Elétrica | Reservas Urânio (ton de U) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | EUA | Próprio | Sim | 82 | 104 (+1) | 100.747 | 20% | 339.000 |
| 2 | China | Próprio | Sim | 13 | 11 (+20) | 8.438 | 2% | 67.900 |
| 3 | Japão | Guarda Chuva | Sim | 19 | 54 (+1) | 46.823 | 29% | x |
| 4 | Índia | Próprio | Sim | 5 | 18 (+5) | 3.987 | 3% | 72.900 |
| 5 | Alemanha | Compartilhado | Sim | 21 | 17 (em desativação) | 20.480 | 28% | x |
| 6 | Rússia | Próprio | Sim | 20 | 31 (+9) | 21.743 | 17% | 545.700 |
| 7 | Reino Unido | Próprio | Sim | 9 | 19 | 10.137 | 16% | x |
| 8 | Brasil | Não | Sim | 4 | 2 (+1) | 1.884 | 3% | 278.400 |
| 9 | França | Próprio | Sim | 19 | 59 (+1) | 63.260 | 74% | x |
| 10 | Itália | Compartilhado | Desativado | 5 | 4 (desativadas) | - | - | - |

Fontes: IAEA 2010 & World Nuclear Association 2011

# MUITO OBRIGADO

**José Manuel Diaz Francisco**
**josem@eletronuclear.gov.br**