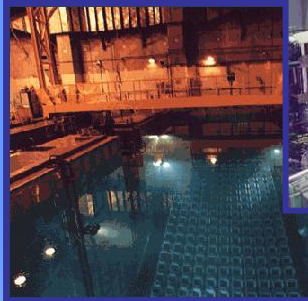
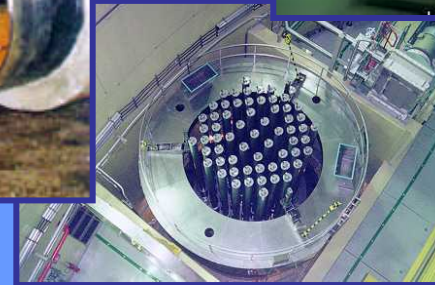


ASPECTOS GERAIS DA ENERGIA NUCLEAR E A ESTRUTURA DO SETOR NUCLEAR NO PAÍS



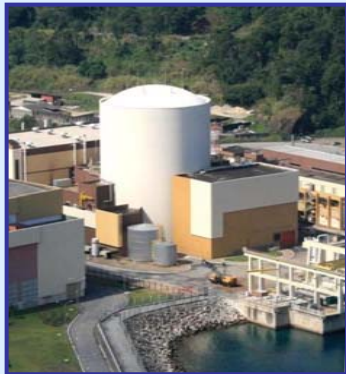
Aquilino Senra
COPPE/UFRJ

Apresentação no Senado Federal

23/03/2011

AS PRINCIPAIS ÁREAS DA ENGENHARIA NUCLEAR

TECNOLOGIA NUCLEAR



Angra 1



Reator



Angra 2

APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS



Gerador de Tecnécio

Medicina Nuclear



Irradiação



Datação

APLICAÇÕES DA ENERGIA NUCLEAR

- ⇒ **MEDICINA**
- ⇒ **INDÚSTRIA**
- ⇒ **AGRICULTURA**
- ⇒ **PRESERVAÇÃO DE ALIMENTOS**
- ⇒ **MEIO AMBIENTE**
- ⇒ **ARQUEOLOGIA/ANTROPOLOGIA (DATAÇÃO)**
- ⇒ **GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**
- ⇒ **DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR**
- ⇒ **PRODUÇÃO DE HIDROGÊNIO**

PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL

- ⇒ **AMPLIAÇÃO DA GERAÇÃO NUCLEAR (ANGRA 3 + NOVAS USINAS)**
- ⇒ **PROJETO DO REATOR NUCLEAR PARA PROPULSÃO NAVAL**
- ⇒ **PROJETO DO REATOR MULTIPROPÓSITO PARA PRODUÇÃO DE RAIOFÁRMACOS**
- ⇒ **APLICAÇÕES DE RADIOISÓTOPOS (MEDICINA, INDÚSTRIA AGRICULTURA)**
- ⇒ **PESQUISA E DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO NAS UNIVERSIDADES E INSTITUTOS DE PESQUISA**
- ⇒ **TRATAMENTO E ARMAZENAMENTO DOS REJEITOS RADIOATIVOS**
- ⇒ **PROSPECÇÃO, MINERAÇÃO E PRODUÇÃO DO CONCENTRADO DE URÂNIO**
- ⇒ **ENRIQUECIMENTO DO URÂNIO**

USINAS TÉRMICAS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

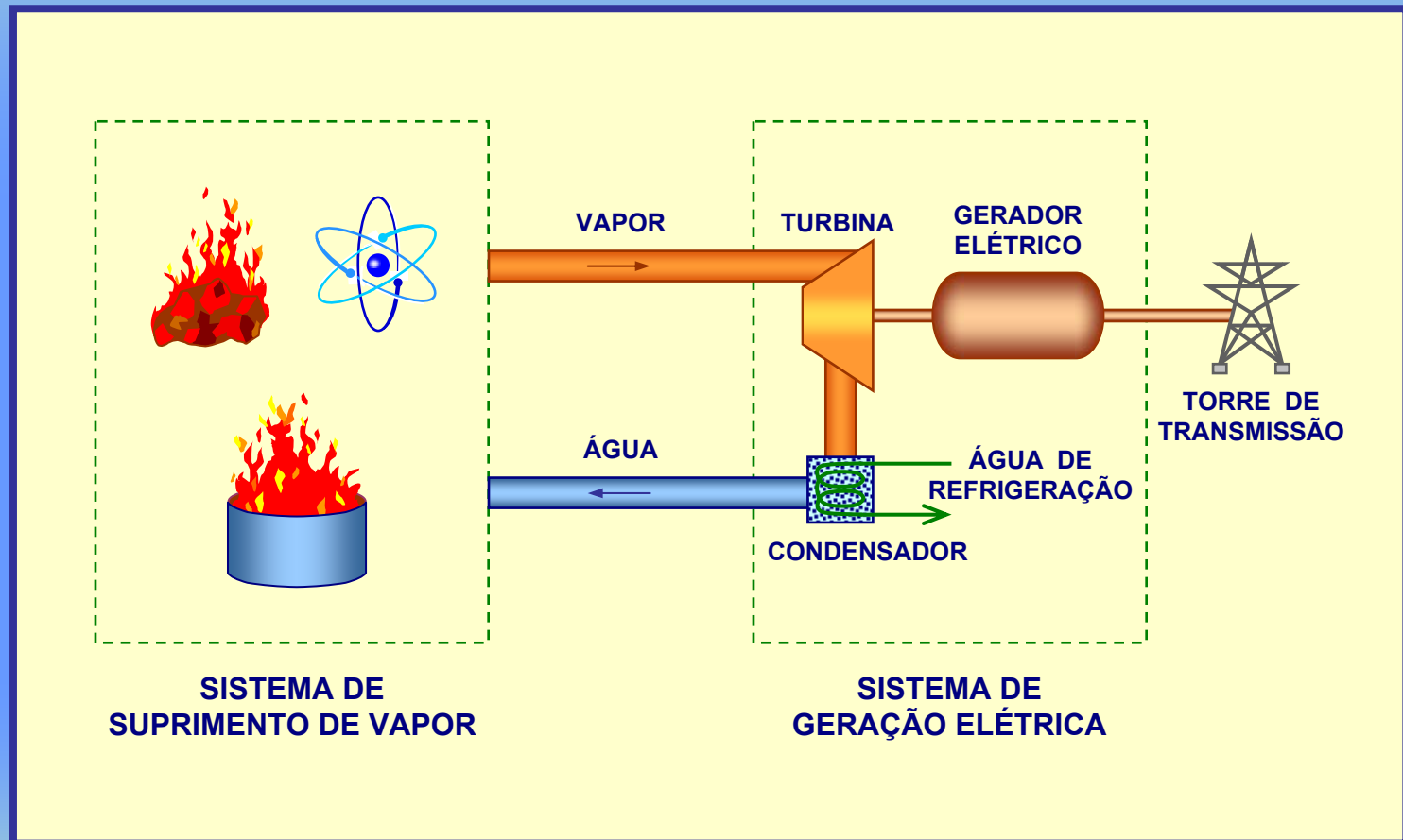


DIAGRAMA DE UMA USINA NUCLEAR PWR

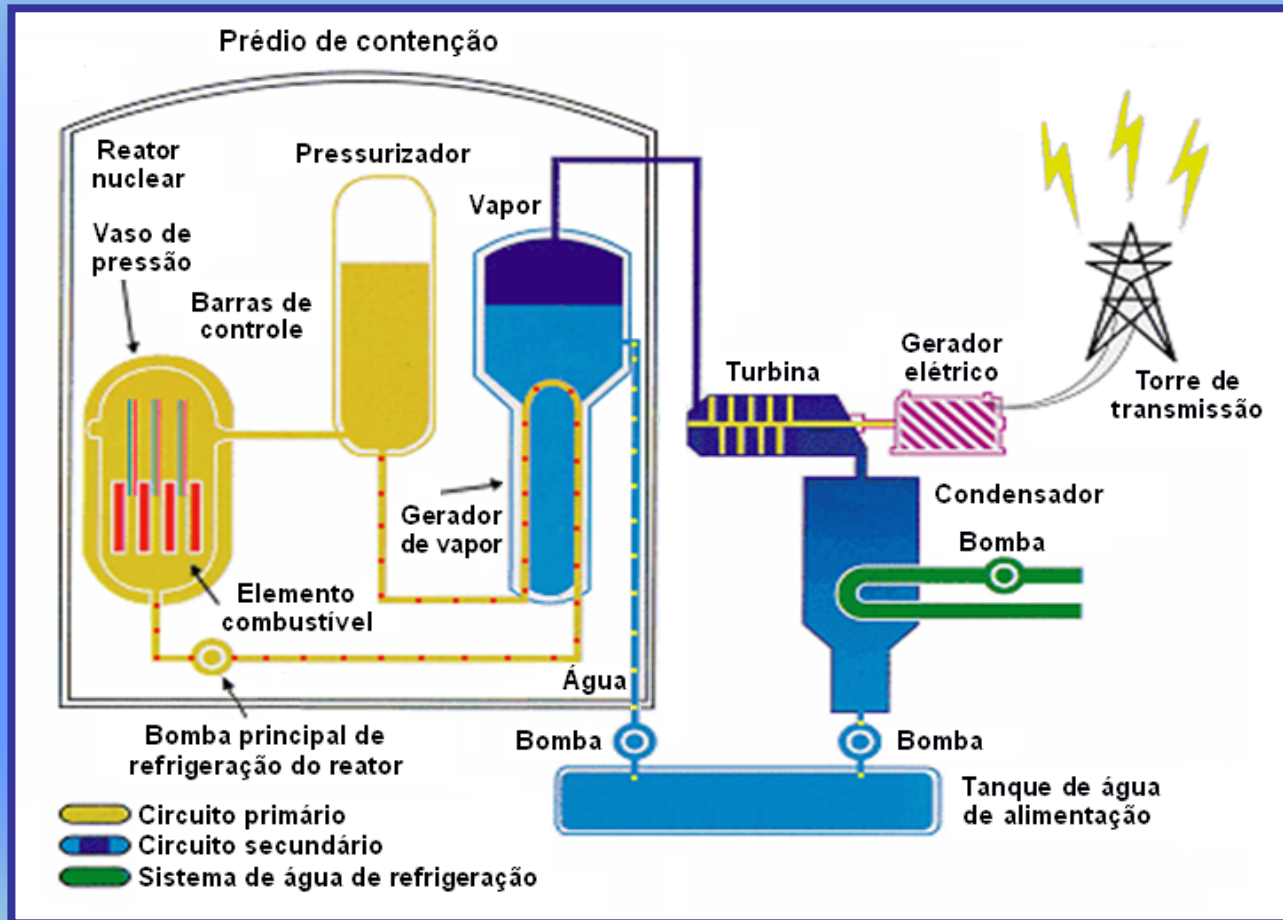
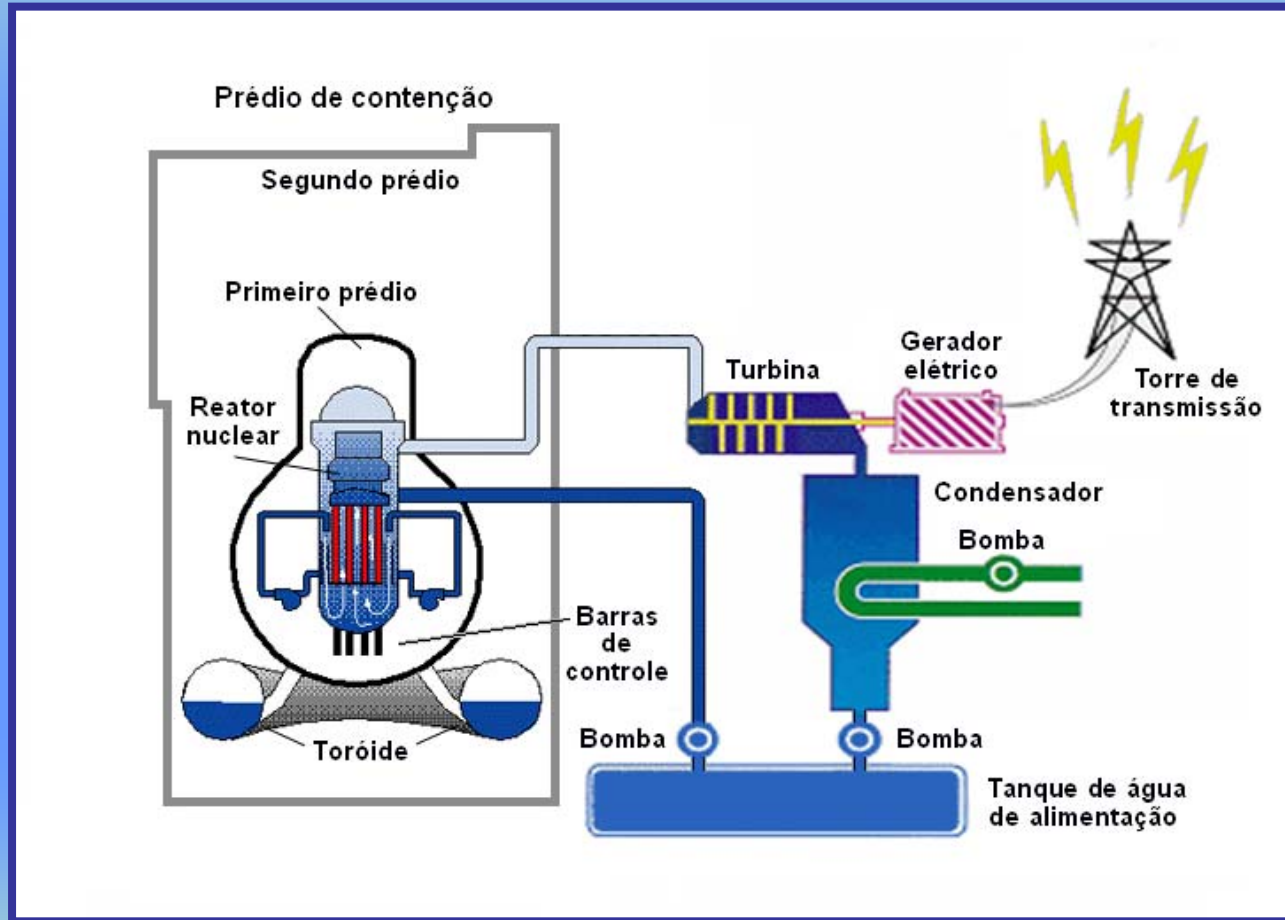


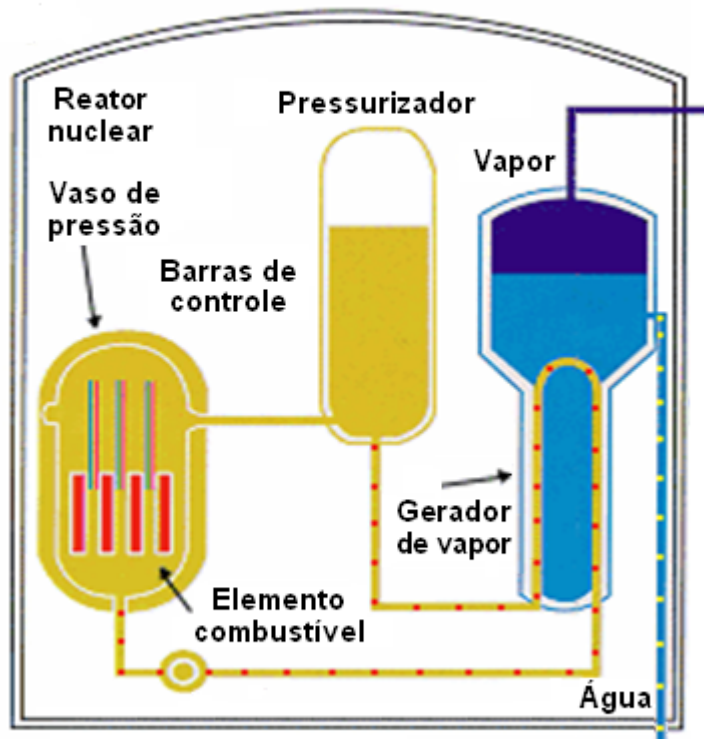
DIAGRAMA DE UMA USINA NUCLEAR BWR



COMPARAÇÃO ENTRE AS USINAS PWR E BWR

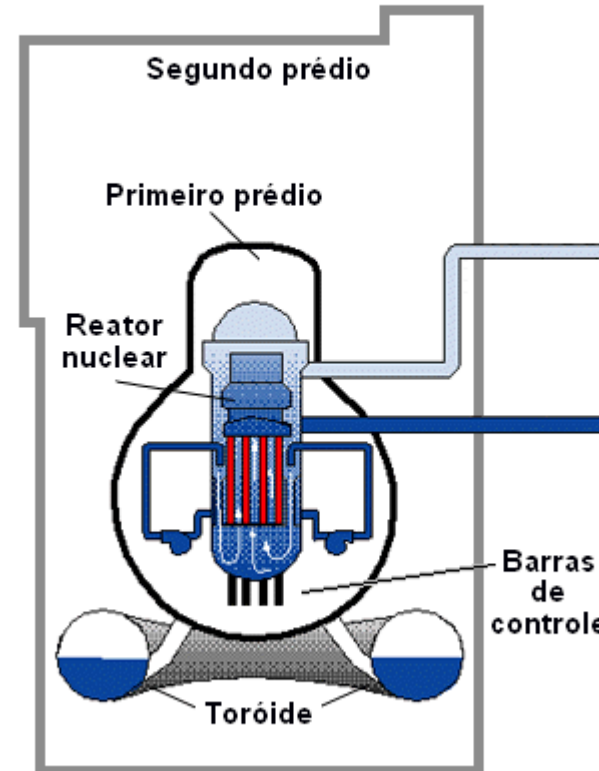
PWR

Prédio de contenção



BWR

Prédio de contenção



O ACIDENTE DE FUKUSHIMA

- As 6 usinas nucleares de Fukushima no Japão foram danificadas por um terremoto de grau 8,9 na escala Richter e uma tsunami de mais de 10 metros de altura.
 - **As usinas nucleares foram projetadas para suportar terremotos de até 8,2. Um terremoto de grau 8,9 é sete vezes maior em magnitude.**
- A causa raiz do acidente foi a perda dos geradores diesel de emergência, causada pelo tsunami.



Fonte: FPL



SEQUÊNCIA DE EVENTOS DO ACIDENTE (1)

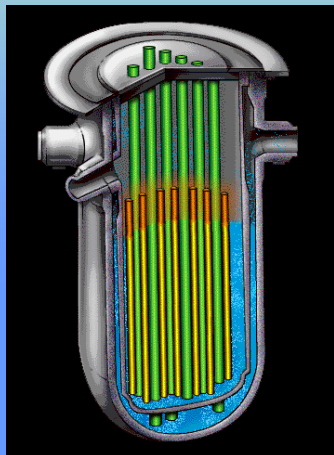
- Reatores nucleares em operação foram desligados automaticamente. A produção de calor resultante das fissões nucleares foi interrompida.
- Os sistemas de refrigeração entraram em operação para remover o calor residual. Esse calor residual representa cerca de 3% do calor gerado durante a operação a plena potência.
- O terremoto resultou na perda de energia elétrica externa a usina.
- Os geradores diesel de emergência entraram em operação para alimentar os sistemas de refrigeração de emergência .
- Uma hora mais tarde a central nuclear foi atingida pelo tsunami, que derrubou os tanques de óleo diesel dos geradores elétricos de emergência. **A tsunami foi maior do que aquela considerada no projeto das usinas de Fukushima.**
- As usinas foram abastecidas por baterias de emergência durante 8 horas.
- A energia elétrica externa não pode ser restabelecida e houve demora na chegada e conexão de geradores portáteis.



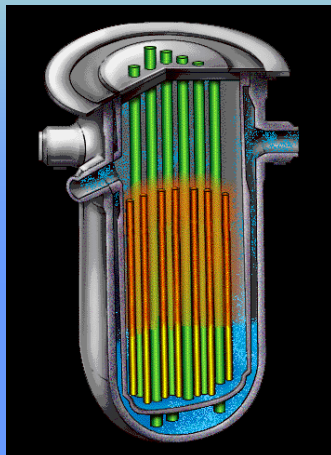
SEQUÊNCIA DE EVENTOS DO ACIDENTE (2)

- Depois que as baterias acabaram a carga, a remoção do calor residual foi interrompida.
- A temperatura do reator aumentou e o nível de água diminuiu, descobrindo e superaquecendo o núcleo do reator.
- Hidrogênio foi produzido através de reações do revestimento metálico com a água no reator.
- Os operadores drenaram o vapor e hidrogênio para o primeiro prédio da contenção, para aliviar a pressão no reator, com conseqüente aumento da temperatura e pressão nesse prédio.
- Para controlar a pressão e o nível de hidrogênio, os operadores drenaram o vapor para o segundo prédio da contenção.
- Este dreno para o segundo prédio da contenção foi feito através de filtros que retiveram parte do material radioativo liberado.
- Uma explosão de hidrogênio ocorreu no segundo prédio da contenção, durante a operação de liberação de vapor.

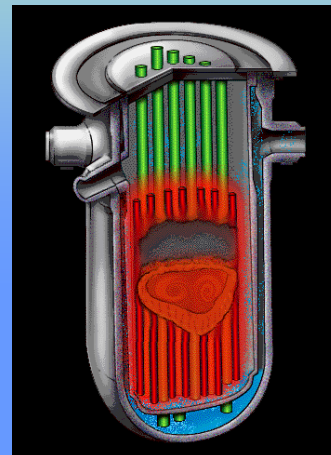
SEQUÊNCIA DE DANO DO REATOR



Reator descoberto



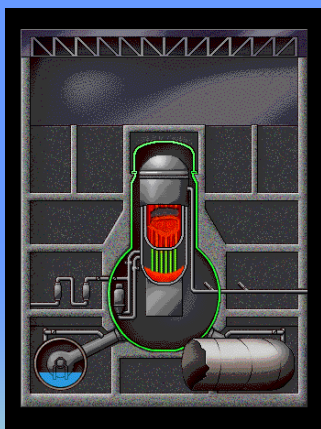
Combustível nuclear
superaquecido



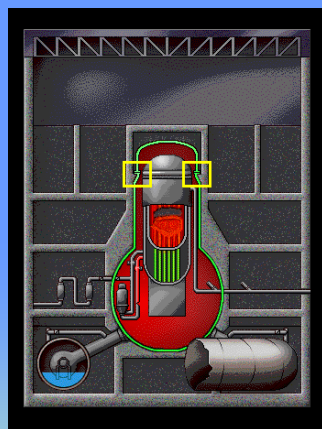
Combustível derretido –
Reator danificado



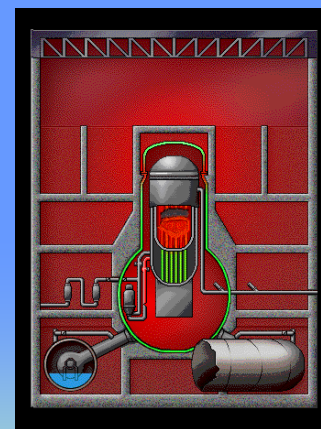
Núcleo do reator danificado –
Material contido no vaso do reator



Parte do núcleo derretido na
parte superior do reator



Liberação para o primeiro
prédio de contenção



Liberação de hidrogênio no
segundo prédio de contenção

A EVOLUÇÃO DAS USINAS NUCLEARES

A EVOLUÇÃO DAS USINAS NUCLEARES

Geração I

Primeiras Usinas Nucleares



- Obninsk (1954)
- Shippingport (1957)

Geração II

Usinas Nucleares Comerciais em Operação



- LWR-PWR, BWR
- CANDU
- WER/RBMK

Geração III

Usinas Nucleares Avançadas



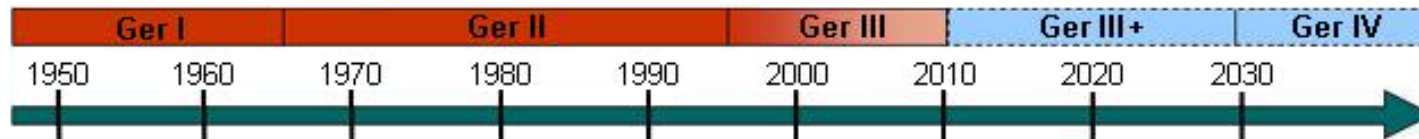
- ABWR
- AP600
- EPR

Aperfeiçoamento da Geração III

Aumento da Economia

Geração IV

- Altamente Econômicas
- Intrinsecamente Seguras
- Rejeitos Mínimos
- Controle Digital



Fonte: DOE / GENIV

RESERVAS MUNDIAIS DE URÂNIO

Reservas de Urânio com preço de US\$80,00/kg

PAÍS	Urânio (10 ³ t)	Percentual (%)
AUSTRÁLIA	1074	30
CAZAQUISTÃO	622	17
CANADÁ	439	12
ÁFRICA DO SUL	298	8
NAMÍBIA	213	6
BRASIL	143	4
RÚSSIA	138	4
EUA	102	3

Referência: Uranium: Resources, Production and Demand. OECD NEA (2010)

SITUAÇÃO MUNDIAL DA ENERGIA NUCLEAR

- ⇒ **440 usinas nucleares em operação (374.900 MW)**
- ⇒ **17% da eletricidade consumida**
- ⇒ **125 usinas nucleares receberam licenças para extensão da vida útil (60 nos Estados Unidos)**
- ⇒ **65 usinas nucleares em construção**
- ⇒ **41 usinas nucleares encomendadas**

Fonte: IAEA / PRIS – 2010

A GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO

PAÍSES COM USO INTENSIVO DA ENERGIA NUCLEAR

PAÍS	Nº DE USINAS	TOTAL (MWe)
ESTADOS UNIDOS	104	100.683
FRANÇA	59	63.260
JAPÃO	54	46.957
RÚSSIA	32	22.743
ALEMANHA	17	20.470
CORÉIA DO SUL	21	18.647
UCRÂNIA	15	13.107
CANADÁ	18	12.577
GRÃ-BRETANHA	19	10.097
SUÉCIA	10	8.958
CHINA	13	9.938
BÉLGICA	7	5.824

Fonte: IAEA / PRIS – 20/09/2010

ASPECTOS QUESTIONÁVEIS

ASPECTOS QUESTIONÁVEIS DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE ATRAVÉS DAS USINAS NUCLEARES

- ✓ **SEGURANÇA**
- ✓ **REJEITOS RADIOATIVOS**
- ✓ **CUSTOS**

INSTITUIÇÕES DO SETOR NUCLEAR NO PAÍS



ESTRUTURA DO SETOR NUCLEAR

