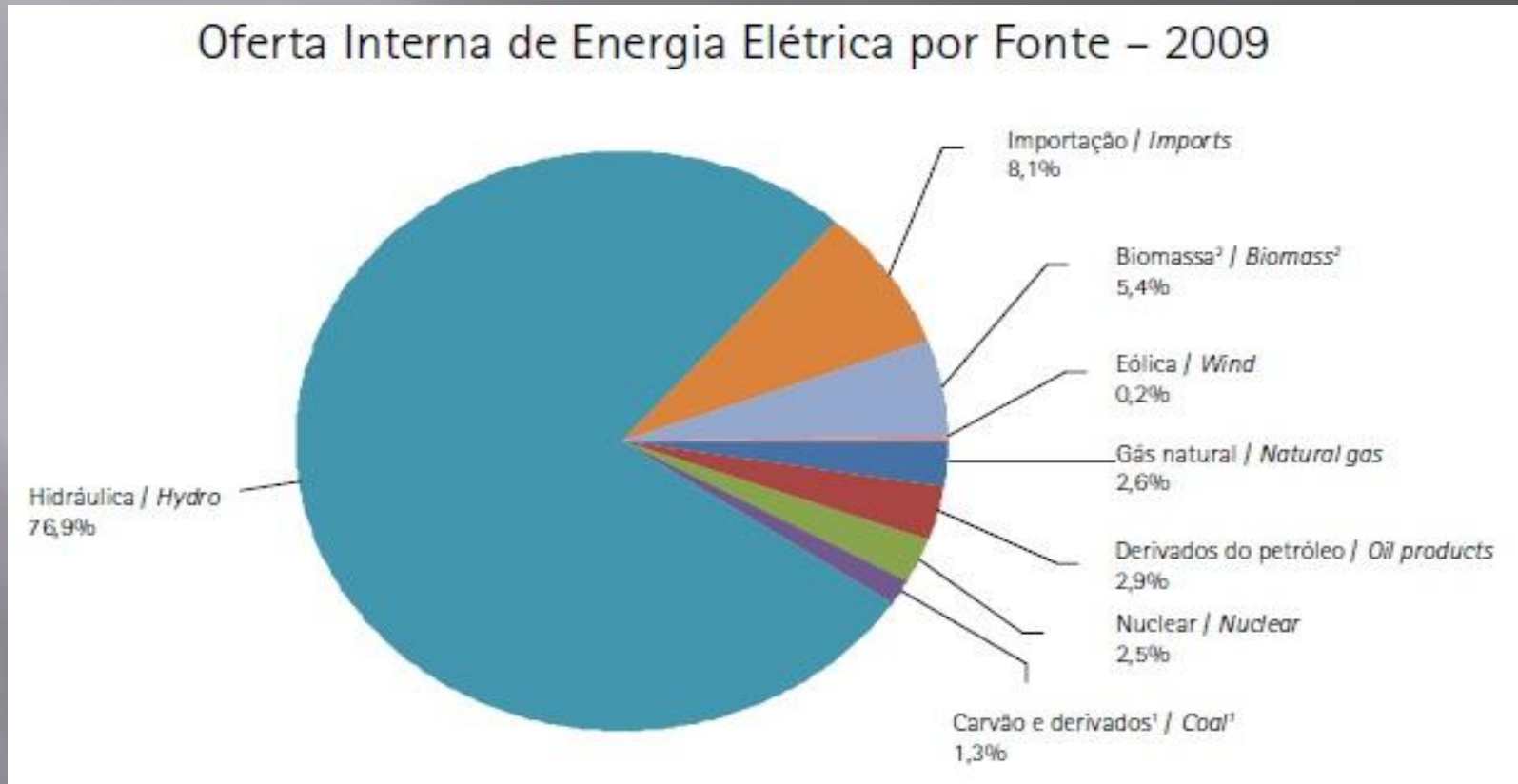


# MATRIZES ENERGÉTICAS

Aspectos Químicos

Basicamente, a química envolvida nas matrizes energéticas se relaciona à obtenção de energia a partir de combustíveis fósseis (carvão, petróleo e gás natural) e a partir de fissão nuclear.



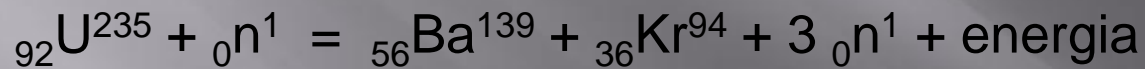
Fonte: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), Balanço de Energia Nacional (BEN - 2010)

Fonte	Aspectos positivos	Aspectos negativos
Carvão	Abundante economicamente, acessível, uso seguro; fácil de transportar e armazenar; amplamente distribuído.	Alta emissão de gases de efeito estufa; necessita de grandes investimentos em tecnologia para diminuir a emissão de gases estufa.
Petróleo	Conveniente; alta densidade energética; fácil de armazenar e transportar; evolução das tecnologias com o uso.	Grande poluidor; preços voláteis; concentração geográfica das jazidas; produto cartelizado e mercado manipulável; reservas em esgotamento.
Gás	Combustível multiuso; alta densidade energética	Emissor de “gases estufa”; requer infraestrutura cara, própria e inflexível; produto cartelizado e mercado manipulável.
Energia Nuclear	Não há emissões de “gases estufa”; alta densidade energética.	Baixa aceitação da sociedade; operação perigosa; sem solução para eliminação de resíduos.
Energia Renovável	Baixa emissão de “gases estufa”; sustentabilidade.	Custos altos; estágio tecnológico inferior às demais.

<b>Combustível</b>	<b>Poder Calorífico Superior*</b>	<b>Pode Calorífico Inferior**</b>
Hidrogênio	141,86 kJ/g	119,93 kJ/g
Metano	55,53 KJ/g	50,02 KJ/g
Gasolina	47,5 KJ/g	44,5 KJ/g
Coque (carvão)	31 kJ/g	-----

\* Combustão se efetua a volume constante e no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE & DOAT, 1985).

\*\* Energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).



1 kg de Urânio produz energia equivalente à da queima de 7,6 milhões de litros de gasolina!

A participação da energia nuclear para a produção de energia elétrica no mundo saltou de 0,1% para 17% em 30 anos. De acordo com a AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica), no final de 1998 havia 434 usinas nucleares em 32 países e 36 unidades sendo construídas em 15 países.

Três países, França, EUA e Japão, respondem por 60% do total mundial de capacidade nuclear instalada. A França tem 80% da energia elétrica gerada a partir de 56 reatores nucleares.

Após o acidente de Chernobyl (1986) vários países diminuíram seus investimentos em usinas nucleares, em particular a Itália, que desativou seus reatores e cancelou projetos. A Alemanha decidiu que não serão instalados novos reatores, e os que estão em operação serão desativados quando completarem sua vida útil (32 anos). No Brasil, após a inauguração de Angra 2 já se discute o projeto de Angra 3.

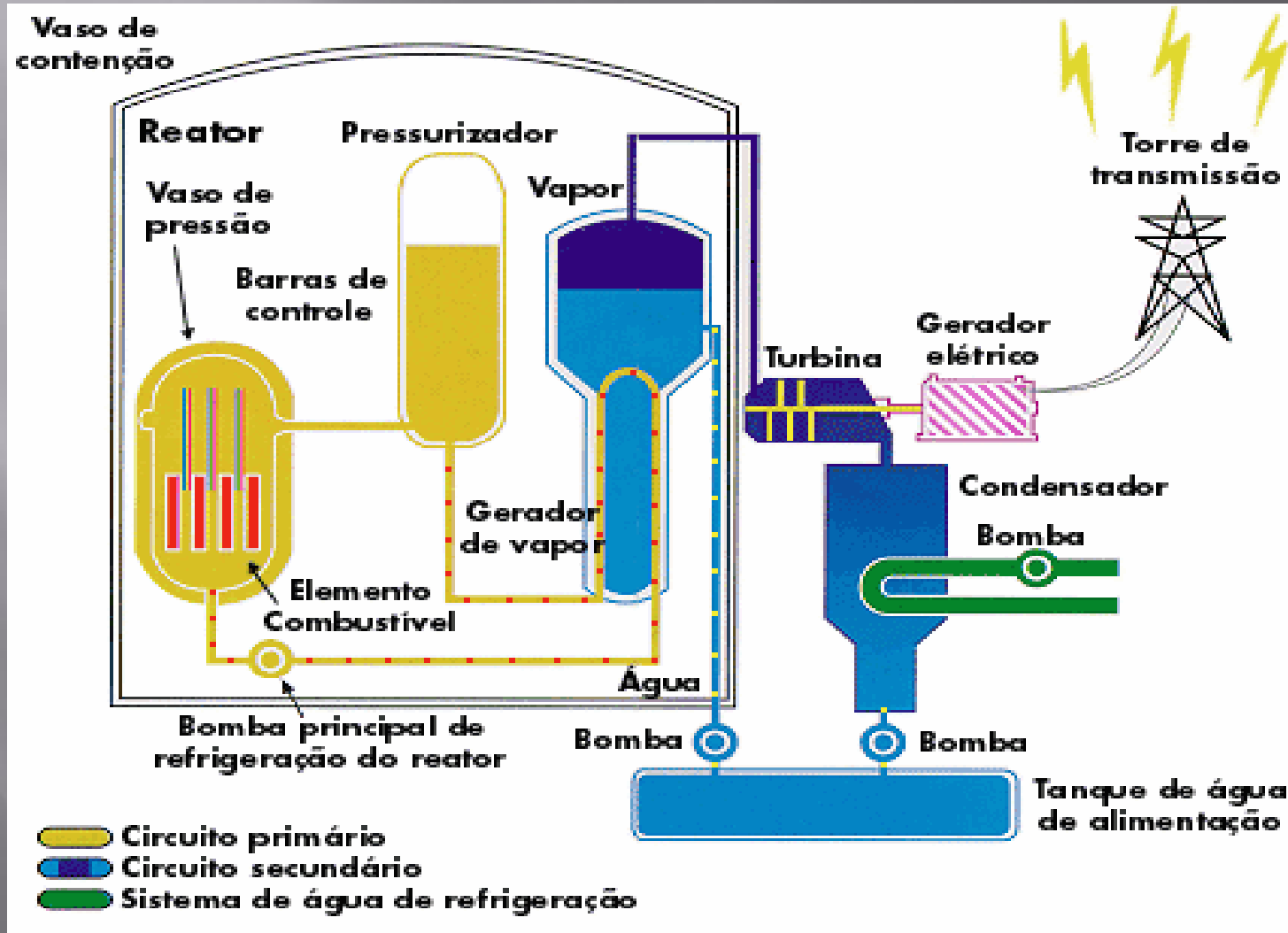
Esquemáticamente, o ciclo completo de produção de urânio envolve as seguintes etapas:

- 1) **Mineração:** após a descoberta da jazida e feita sua avaliação econômica (prospecção e pesquisa), inicia-se a mineração e o beneficiamento. Na usina de beneficiamento, o urânio é extraído do minério, purificado e concentrado num sal de cor amarela, chamado "*yellowcake*". No Brasil, estas etapas são realizadas na Unidade de Lagoa Real (BA) das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), capaz de produzir 300 toneladas/ano de concentrado de urânio. O teor e a dimensão de suas reservas são suficientes para o suprimento de Angra 1, 2 e 3 por 100 anos.
- 2) **Conversão do *yellowcake* (óxido de urânio -  $U_3O_8$ ) em hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ) sob estado gasoso, após ter sido dissolvido e purificado.**
- 3) **Enriquecimento Isotópico:** tem por objetivo aumentar a concentração de urânio 235 (U-235) acima da natural, de apenas 0,7%, para 2 a 5%, servindo então como combustível nuclear. Esta etapa e a de conversão ainda não são realizadas no Brasil, mas na Europa por um consórcio chamado URENCO. A tecnologia de enriquecimento inclui um processo de centrifugação, onde entra o gás  $UF_6$ . O isótopo U-235 de interesse é separado do isótopo U-238 mais pesado.
- 4) **Reconversão do gás  $UF_6$  em dióxido de urânio ( $UO_2$ ) ao estado sólido (pó).** Esta etapa é realizada em Resende (RJ), desde 1999, na Unidade II da Fábrica de Elementos Combustíveis (FEC), da INB.
- 5) **Fabricação das Pastilhas de  $UO_2$ , também na Unidade II da FEC.**
- 6) **Fabricação de Elementos Combustíveis:** as pastilhas são montadas em varetas de uma liga metálica especial, o *zircaloy*. Esta etapa é realizada na Unidade I da FEC, também localizada em Resende (RJ).

Uma amostra de urânio deve ser enriquecida de modo que contenha de 2% a 3% (ou mais) de U-235. Normalmente, o urânio é formado em *péletes* (que tem a forma de uma pílula) com aproximadamente o mesmo diâmetro de uma moeda de 10 centavos e mais ou menos 2,5 cm de espessura. Os *péletes* são dispostos em hastes longas agrupadas em feixes, normalmente submersos em água (que atua como refrigerante). Se deixado sozinho, o urânio eventualmente superaqueceria e derreteria.

Para evitar isso, as hastes de controle feitas de material que absorve nêutrons são inseridas no feixe usando um mecanismo que pode elevá-las ou abaixá-las. Elevar ou abaixar as hastes permite que os operadores controlem o índice de reação nuclear. Quando um operador quer que o núcleo de urânio produza mais calor, as hastes são elevadas para fora do feixe de urânio. Para criar menos calor, as hastes são abaixadas dentro do feixe de urânio. As hastes podem ser abaixadas completamente no interior do feixe de urânio para desligar o reator no caso de um acidente ou para trocar o combustível.

O urânio atua como uma fonte de calor de altíssima energia. Ele aquece a água, que se transforma em vapor. O vapor aciona uma turbina, que faz girar um gerador para produzir energia.





**A edificação de contenção, em formato de domo, da Usina Nuclear de Shearon Harris, perto de Raleigh, Carolina do Norte, com capacidade para 870 Megawatts.**



**Tubos que transportam vapor para o alimentar o gerador.**

Vapor saindo da torre de refrigeração da usina.



Sala de controle.

## Unidades ligadas à radiação (SI)

Nome da unidade	Símbolo	Definição
Becquerel	$\text{Bq} = \text{s}^{-1}$	Atividade de um material radioativo na qual se produz uma desintegração nuclear por segundo
Sievert	$\text{Sv} = \text{J} \times \text{kg}^{-1}$	Equivalente de dose de uma radiação correspondente a 1 joule por quilograma.

## Unidades aceitas

Nome da unidade	Símbolo	Valor em unidades SI
Curie	Ci	$3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
Rem	rem	$10^{-2} \text{ Sv}$

O acidente de Chernobyl (1986) liberou para a atmosfera 400 vezes mais material radioativo que a bomba de Hiroshima. Ainda assim, essa quantidade é equivalente a um milionésimo de todo o material radioativo liberado nos testes nucleares nas décadas de 1950 e 1960 (NUCTEC, 2006).

Na usina de Three Mile Island, no estado da Pennsylvania, no ano de 1979, um acidente similar ao da usina em Chernobyl não provocou maiores danos, pois o modelo de planta contemplava o chamado “Envoltório de Contenção”, cúpulas de aço e cimento para proteção interna e externa.