

## 10.1. INFORMAÇÕES GERAIS

Neste capítulo conclui-se o exame, iniciado no Capítulo 3, das principais fontes energéticas para geração de energia elétrica no País. As fontes tratadas a seguir possuem restrições que impedem um significativo aumento de sua participação no suprimento de energia elétrica no Brasil. As restrições podem ser de ordem ambiental – no caso da nuclear – ou decorrentes da relação de dependência dessas fontes com o setor da economia ao qual estão ligadas – no caso do aproveitamento de gás de alto forno de siderúrgicas ou do gás de processo de indústrias químicas.

## 10.2. ENERGIA NUCLEAR

A energia nuclear ou nucleoe elétrica é proveniente da fissão do urânio em reator nuclear. Apesar da complexidade de uma usina nuclear, seu princípio de funcionamento é similar ao de uma termelétrica convencional, onde o calor gerado pela queima de um combustível produz vapor, que aciona uma turbina, acoplada a um gerador de corrente elétrica (ver Figura 10.1). Na usina nuclear, o calor é produzido pela fissão do urânio no reator, cujo sistema mais empregado (PWR – *Pressurized Water Reactor*) é constituído por três circuitos, a saber: primário, secundário e de refrigeração. No primeiro, a água é aquecida a uma temperatura de aproximadamente 320°C, sob uma pressão de 157 atmosferas. Em seguida, essa água passa por tubulações e vai até o gerador de vapor, onde vaporiza a água do circuito secundário, sem que haja contato físico entre os dois circuitos. O vapor gerado aciona uma turbina, que movimenta o gerador e produz corrente elétrica (ELETRONUCLEAR, 2001).

### 10.2.1. A ENERGIA NUCLEAR NO CONTEXTO DO SETOR ELÉTRICO INTERNACIONAL

Os choques internacionais do petróleo, nos anos 70, e a crise energética subsequente levaram à busca de fontes alternativas de geração de eletricidade. Nesse contexto, a energia nuclear passou a ser vista como a alternativa mais promissora, recebendo a atenção de muitos analistas e empreendedores, assim como vultosos investimentos. Em pouco mais de duas décadas, passou de uma participação desprezível (0,1%) para 17% da produção mundial de energia elétrica, ocupando assim o terceiro lugar entre as fontes de geração<sup>(22)</sup> (ELETRONUCLEAR, 2001). A Tabela 10.1 apresenta a situação do consumo de energia nuclear no mundo.

(22) Nos países da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico), a geração termonuclear ocupa o segundo lugar entre as fontes, com 24% da produção, segundo dados de 1997 (Eletronuclear, 2001).

**TABELA 10.1** Consumo de energia nuclear no mundo em 2002

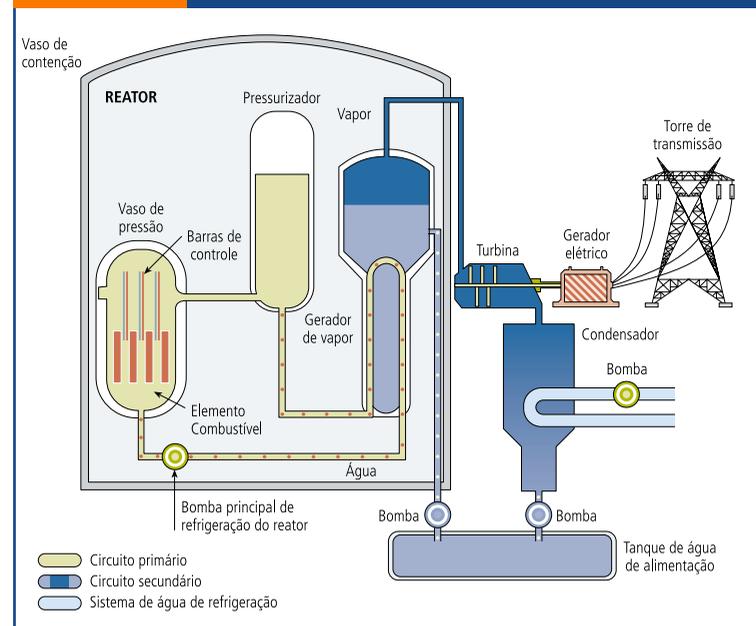
	Consumo	
	TWh	Participação no total
América do Norte	906,10	33,6%
América do Sul e Central	20,90	0,8%
Europa e antiga URSS	1.235,90	45,8%
Oriente Médio	-	0,0%
África	12,60	0,5%
Ásia (Pacífico)	520,60	19,3%
<b>Total</b>	<b>2.696,10</b>	<b>100,0%</b>
Brasil	15,10	0,6%

Fonte: BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY. London: BP, 2003.  
Disponível em: [www.bp.com/worldenergy](http://www.bp.com/worldenergy).

Não obstante, o futuro da energia nuclear não parece promissor, em razão dos problemas de segurança e dos altos custos de disposição dos rejeitos nucleares. Com exceção de poucos países, dentre os quais a França e o Japão, a opinião pública internacional tem sido sistematicamente contrária à geração termonuclear de energia elétrica.

Além disso, a opção nuclear encontra restrições de ordem econômico-financeira, como indicado na revista *Energy Economist*, em dezembro de 1999 (n° 218): “Seu problema é que no mundo liberalizado da eletricidade, no qual são favorecidas as tecnologias de geração que viabilizam plantas de menor capacidade e de construção mais rápida e barata, os reatores nucleares, em geral, não atendem a nenhuma dessas condições”. (BAJAY, WALTER, FERREIRA, 2000).

A Figura 10.2 fornece uma visão da produção mundial de energia elétrica por usinas nucleares (milhões de TEP), tomando-se como base os dados de 1998. Como já mencionado, destacam-se os Estados Unidos e a França, responsáveis por quase metade de toda a geração termonuclear no mundo. Em seguida vêm o Japão, a Alemanha e a Rússia. No Brasil, a energia nuclear representa apenas cerca 2,3% da capacidade instalada e as expectativas para o futuro são pouco promissoras, como abordado no próximo item.

**FIGURA 10.1** Diagrama esquemático de uma usina termonuclear

Fonte: ELETROBRAS TERMONUCLEAR - ELETRONUCLEAR. A Energia nuclear: história, princípios de funcionamento. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: [www.eletronuclear.gov.br/funcionamento.htm](http://www.eletronuclear.gov.br/funcionamento.htm).

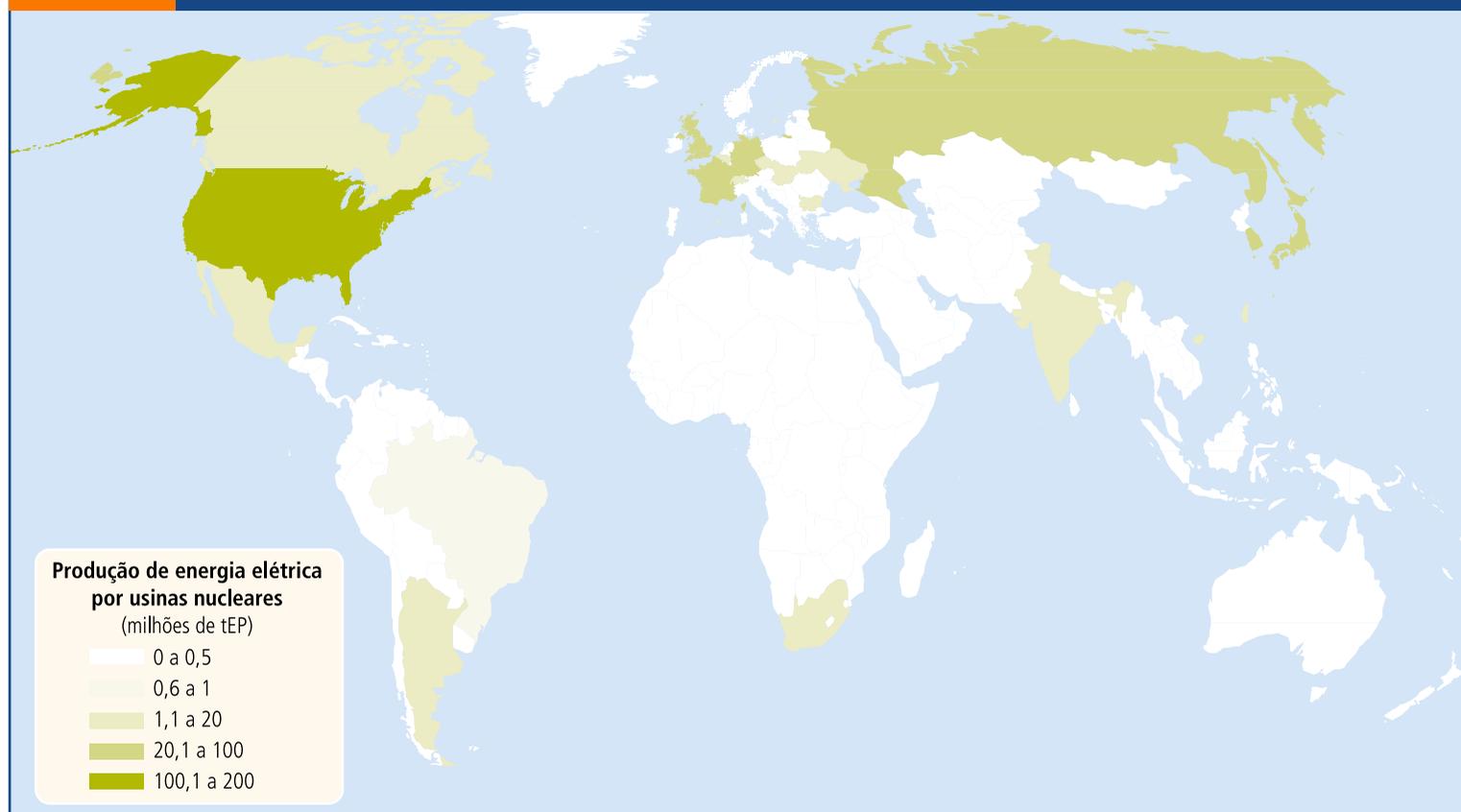
### 10.2.2. A ENERGIA NUCLEAR NO CONTEXTO DO SETOR ELÉTRICO BRASILEIRO<sup>(23)</sup>

No final dos anos 1960, o Governo Brasileiro decidiu ingressar na geração termonuclear, visando a conhecer melhor essa tecnologia e a adquirir experiências para um futuro supostamente promissor da opção nuclear, a exemplo do que ocorria em vários outros países. Na época, cogitava-se a necessidade de complementação térmica para o suprimento de eletricidade no Rio de Janeiro. Decidiu-se, então, que essa complementação ocorresse por meio da construção de uma usina nuclear (Angra I), com capacidade nominal da ordem de 600 MW, na cidade de Angra dos Reis – RJ.

A construção de Angra I (657 MW) teve início em 1972. A primeira reação nuclear em cadeia ocorreu em março de 1982 e a usina entrou em operação comercial em janeiro de 1985. Mas, logo após, interrompeu suas atividades, voltando a funcionar somente em abril de

(23) O conteúdo deste item baseia-se no documento elaborado pelo conselho Nacional de Política Energética (CNPE), intitulado *O Setor Elétrico Brasileiro - Situação Atual e Perspectivas* (CNPE, 2000).

FIGURA 10.2 Produção mundial de energia elétrica por usinas nucleares em 1998 (milhões de tEP)



Fonte: Elaborado com base em dados de BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY. London: BP, 1999. Disponível em: [www.bp.com/worldenergy](http://www.bp.com/worldenergy).

1987, operando, porém, de modo intermitente, até dezembro de 1990 (nesse período, operou com 600 MW médios durante apenas 14 dias). Entre 1991 e 1994, as interrupções foram menores ou menos frequentes, mas somente a partir de 1995 a usina passou a ter operação regular.

Em junho de 1975, foi assinado com a República Federal da Alemanha o Acordo de Cooperação para o Uso Pacífico da Energia Nuclear. Em julho do mesmo ano, foi feita a aquisição das usinas de Angra II e Angra III, junto à empresa alemã Kraftwerk Union A.G. – KWU, subsidiária da Siemens. A construção de Angra II (1.309 MW) teve início em 1976 e a previsão inicial para a usina entrar em operação era 1983. Em razão, porém, da falta de recursos, a construção ficou paralisada durante vários anos e a operação do reator ocorreu somente em julho de 2000, com carga de 200 MW a 300 MW. Entre 20 de agosto e 3 de setembro daquele ano, a usina funcionou regularmente, com 915 MW médios. A partir de então, operou de modo intermitente até 9 de novembro, quando passou a funcionar com potência de 1.365 MW médios.

### 10.2.3. RESERVAS, EXTRAÇÃO E BENEFICIAMENTO DE URÂNIO NO BRASIL

Com cerca de 30% do território prospectado, o Brasil possui atualmente a sexta maior reserva de urânio do mundo. As reservas nacionais são estimadas em 309.200 toneladas. Desse total, 46% estão localizados no Município de Itatiaia, no Ceará, e 33%, no Estado da Bahia, nos municípios de Lagoa Real e Caetité, como indicado na Tabela 10.2.

**TABELA 10.2** Reservas de urânio no Brasil - situação em janeiro de 2001

Depósitos	Medidas e indicadas	Inferidas	Total
Lagoa Real e Caetité (BA)	94.000	6.700	100.700
Itatiaia (CE)	91.200	51.300	142.500
Outros	39.500	26.500	66.000
<b>Total</b>	<b>224.700</b>	<b>84.500</b>	<b>309.200</b>

Fonte: INDÚSTRIAS NUCLEARES BRASILEIRAS - INB. 2001. Rio de Janeiro. Disponível em: [www.inb.gov.br](http://www.inb.gov.br).

O urânio é um metal branco-níquel, pouco menos resistente que o aço, encontrado nas rochas da crosta terrestre. Sua principal aplicação comercial é a geração de energia elétrica, como combustível para reatores nucleares de potência. Para isso, passa por uma série de estágios e processos, dentre os quais a mineração, o beneficiamento e a produção do elemento combustível, composto por pastilhas de dióxido de urânio ( $UO_2$ ) (INB, 2001).

O primeiro complexo minero-industrial de urânio no Brasil foi instalado em 1982, no Município de Caldas, no sul de Minas Gerais (INB, 2001). Segundo a referida fonte, desde o início de sua operação, a unidade de Caldas produziu cerca de 1.300 toneladas de concentrado de urânio ( $U_3O_8$ ) – o suficiente para o suprimento de Angra I e de programas de desenvolvimento tecnológico. Esgotada a capacidade de produção de Caldas, do ponto de vista da viabilidade econômica, passou-se a explorar a unidade de Lagoa Real, permanecendo em Caldas apenas o beneficiamento. A produção de elementos combustíveis é feita em Resende-RJ, onde há duas unidades produtoras.

A Figura 10.3 apresenta a localização das principais reservas nacionais de urânio, as unidades de extração, beneficiamento e produção de elementos combustíveis e as usinas termonucleares de Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro.

#### 10.2.4. ASPECTOS SOCIOAMBIENTAIS

Embora seja a terceira maior fonte geradora de eletricidade no mundo e evite a emissão de consideráveis quantidades de dióxido de carbono e outros poluentes, a energia nuclear tem sido vista mais como um perigo de autodestruição do que uma fonte ilimitada de energia, como esperado no início do seu desenvolvimento tecnológico. O impacto ambiental de usinas termonucleares tem sido muito enfatizado nas últimas décadas, sendo hoje preocupação de movimentos ambientalistas, tanto em termos globais como regionais. Além de uma remota – mas não desprezível – possibilidade de contaminação do solo, do ar e da água por radionuclídeos, o aquecimento das águas do corpo receptor pela descarga de efluentes também representa um risco para o ambiente local.

As usinas termonucleares utilizam grandes quantidades de água em seu sistema de refrigeração, que funciona em paralelo com o circuito de água e vapor para geração de energia elétrica. A separação desses sistemas impede a contaminação dos efluentes por materiais radioativos em condições rotineiras de funcionamento das usinas. Em regiões costeiras, onde as usinas utilizam água do mar para refrigeração, o lançamento dessa água, combinado com outros fatores, como a pluviosidade, a altura da termoclina, correntes, marés e regime de ventos, tende a ocasionar alteração na temperatura natural do corpo receptor. Nesse caso, uma tarefa imprescindível é a separação dos efeitos naturais, como a influência de massas oceânicas de água,

**FIGURA 10.3** Reservas nacionais de urânio, unidades de extração, beneficiamento e produção de elementos combustíveis e usina termonuclear de Angra dos Reis



Fonte: ELETROBRAS TERMONUCLEAR - ELETRONUCLEAR. A Energia nuclear: história, princípios de funcionamento. Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: [www.eletronuclear.gov.br/funcionamento.htm](http://www.eletronuclear.gov.br/funcionamento.htm).

insolação, estratificação e correntes locais, dos efeitos da descarga de águas de refrigeração. A Usina de Angra I, situada na praia de Itaorna, no município de Angra dos Reis, descarrega cerca de  $30 \text{ m}^3/\text{s}$  de água utilizada para a refrigeração do sistema de geração de energia elétrica no saco de Piraquara de Fora, baía da Ilha Grande, no Estado do Rio de Janeiro.

Os perigos da autodestruição foram bem evidenciados em abril de 1986, quando a explosão de um dos quatro reatores da usina nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, provocou o mais trágico acidente nuclear da história. A nuvem radioativa atingiu proporções gigantescas, cobrindo grande parte do território europeu e atingindo milhões de pessoas. Os danos causados pelo acidente foram incalculáveis e ainda hoje há sérias conseqüências, entre as quais mutações genéticas provocadas pela emissão de material radioativo e contaminação do solo, da vegetação e de corpos d'água.

## 10.3. EFLUENTE GASOSO, ENXOFRE, GÁS DE ALTO FORNO E GÁS DE PROCESSO

O aproveitamento dessas fontes para geração elétrica ocorre, em geral, como uma destinação útil de subprodutos ou rejeitos de processos produtivos energointensivos, representando um ganho de eficiência e/ou uma forma de evitar a emissão de efluentes nocivos ao meio ambiente.

Além disso, são termelétricas com importante potencial para co-geração, como observado no Capítulo 2.

Constam, na Tabela 10.3, os 14 empreendimentos em operação no País que utilizam as referidas fontes, perfazendo 526,48 MW de capacidade instalada e, na Tabela 10.4, aqueles em construção ou apenas outorgados (construção não iniciada) que poderão contribuir com 19,82 MW. A Figura 10.4 ilustra a distribuição desses empreendimentos no território nacional.

**TABELA 10.3** Empreendimentos em operação no Brasil (Efluente Gasoso, Enxofre, Gás de Alto Forno e Gás de Processo) -situação em setembro de 2003

Usina	Potência (kW)	Combustível	Destino da Energia	Proprietário	Município – UF
Açominas	66.340,00	Gás de Alto Forno	APE	Aço Minas Gerais S/A	Congonhas – MG
Ipatinga	40.000,00	Gás de Alto Forno	PIE	Usina Térmica Ipatinga S/A	Ipatinga - MG
Cosipar	4.000,00	Gás de Alto Forno	APE	Companhia Siderúrgica do Pará	Marabá - PA
Brasil Verde	1.200,00	Gás de Alto Forno	APE	Brasil Verde Agroindústrias Ltda.	Conceição do Pará - MG
Cospa	27.000,00	Gás de Alto Forno	APE	Companhia Siderúrgica Paulista	Cubatão - SP
Usiminas	18.000,00	Gás de Alto Forno	APE	Usinas Siderúrgicas de Minas Gerais S/A	Ipatinga - MG
Negro de Fumo	24.400,00	Gás de Processo	PIE	Columbian Chemicals Brasil Ltda.	Cubatão - SP
Copesul	74.400,00	Gás de Processo	PIE	Companhia Petroquímica do Sul	Triunfo - RS
Fosfertil (Expansão do Complexo Industrial Uberaba)	24.400,00	Gás de Processo	APE	Fertilizantes Fosfatados S/A	Uberaba - MG
Elekeiroz	11.840,00	Enxofre	APE	Elekeiroz S/A	Várzea Paulista - SP
Serrana	10.700,00	Enxofre	APE	Fertilizantes Serrana S/A	Cajati - SP
Bunge Araxá	11.500,00	Enxofre	APE	Bunge Fertilizantes S/A	Araxá - MG
Protótipo de Irati (Recap)	2.500,00	Efluente Gasoso	APE	Petróleo Brasileiro S/A	São Mateus do Sul - PR
CST	210.200,00	Efluente Gasoso	APE	Companhia Siderúrgica de Tubarão	Serra - ES

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**TABELA 10.4** Empreendimentos em construção ou apenas outorgados (Efluente Gasoso, Enxofre, Gás de Alto Forno e Gás de Processo) - situação em setembro de 2003

Usina	Potência (kW)	Combustível	Destino da Energia	Proprietário	Município – UF	Situação
Gabriel Passos	9.220,00	Gás de Processo	PIE	Refinaria Gabriel Passos - PETROBRÁS	Betim - MG	Construção
João Neiva	3.000,00	Gás de Alto Forno	APE	CBF Indústria de Gusa S/A	João Neiva - ES	Apenas outorgado
Mat-Prima	1.200,00	Gás de Alto Forno	APE	Mat-Prima Comércio de Metais Ltda.	Divinópolis - MG	Apenas outorgado
Pitangui	4.000,00	Gás de Alto Forno	-	Rio Rancho Agropecuária S/A	Pitangui - MG	Apenas outorgado
RVR	1.200,00	Gás de Alto Forno	APE	Siderurgia e Empreendimentos Florestais Ltda.	Prudente de Moraes - MG	Apenas outorgado
Siderpa	1.200,00	Gás de Alto Forno	-	Siderúrgica Paulino Ltda.	Sete Lagoas- MG	Apenas outorgado

Fonte: AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).

**FIGURA 10.4** Termelétricas atuais e futuras (efluente gasoso, enxofre, gás de alto forno e gás de processo) - situação em setembro de 2003



Fonte: Elaborado com base em dados da AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. Banco de Informações de Geração – BIG. 2003. Disponível em: [www.aneel.gov.br/15.htm](http://www.aneel.gov.br/15.htm).