

# Urânio

Mathias Heider – Eng. Minas  
DNPM/Sede (61) 3312-6779  
mathias.heider@dnpm.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

Minério de urânio é toda concentração natural de minerais na qual o urânio ocorre em proporções e condições tais que permitem sua exploração econômica, dentro de um contexto estratégico. O urânio, cujo nome faz uma alusão ao planeta Urano, tem uma distribuição diversificada sobre a crosta terrestre, mas as reservas economicamente atrativas dependem do teor da substância presente no minério, além da disponibilidade tecnológica utilizada para a extração e beneficiamento.

No Brasil, o urânio, um metal radioativo e considerado estratégico, tem sua mineração controlada pela União, através da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear), autarquia criada em 1956 e atualmente, vinculada ao Ministério de Ciência e Tecnologia. De acordo com a Lei Nº 4.118, de 27 de agosto de 1962, constituem monopólio da União a pesquisa e a lavra das jazidas dos minérios nucleares, o comércio e a produção de materiais com características nucleares. Atualmente este monopólio está sendo amplamente questionado pelos diversos órgãos e representações ligados ao setor mineral. Com o arrendamento da jazida de Santa Quitéria pela INB no Ceará já podemos observar uma flexibilização no monopólio estatal.

No Brasil, as questões relevantes na discussão do potencial da geração nuclear estão relacionadas:

- à disponibilidade do energético (reservas);
- ao domínio do ciclo do combustível e o dimensionamento da produção em escala compatível com as necessidades do país;
- aos aspectos de natureza tecnológica e econômica (refletido no custo da geração);
- aos aspectos regulatórios (hoje as instalações nucleares de qualquer natureza são monopólio da União) e
- aos aspectos de natureza geopolítica e estratégica (por exemplo: dependência de importações).

### 1.1 HISTÓRICO

O urânio foi descoberto por Martim Klaproth, na Alemanha, em 1789, no mineral uranilita ou pitchblenda –  $U_3O_8$ . Entretanto, sabe-se de seu uso, pelo menos na forma de óxido, há muito tempo, pois um vidro amarelo, datado de 79 d.C., foi encontrado em Nápoles, Itália contendo cerca de 1% de óxido de urânio. O elemento foi isolado do mineral pelo francês Eugene-Melchior Peligot em 1841, através da redução do cloreto anidro com potássio.

Em 1896, o francês A. Henri Becquerel descobriu que o urânio possuía propriedades radioativas, quando tentava mostrar a relação entre os raios X e a luminescência dos sais de urânio, colocando uma quantidade de sal de urânio em cima de uma chapa fotográfica envolvida em papel preto, exposta à luz solar. Após a revelação da chapa, ficou evidenciado, que os raios emitidos pelo sal de urânio atravessavam o papel preto. Ao tentar repetir a experiência, mais tarde, Becquerel constatou que o sol não estava propício e guardou o material numa gaveta. Quando Becquerel pegou novamente o material para reiniciar suas pesquisas, observou uma imagem intensa na placa. Repetiu a experiência no escuro total, obtendo o mesmo resultado, provando que os sais de urânio emitiam raios que afetavam a placa fotográfica sem que ela fosse exposta a luz solar. Deste modo Becquerel

descobriu a radioatividade do urânio. A descoberta da fissão nuclear pelos alemães Otto Hahn e Fritz Strassman, em 1939, tornou o urânio um elemento de grande importância.

### **1.1.1 Propriedades, características físicas e químicas.**

O Urânio é um elemento químico representado pelo símbolo U e massa atômica igual a 238. Existe na natureza na forma de três isótopos:  $U_{234}$ ,  $U_{235}$ ,  $U_{238}$ . É um elemento radioativo e pertence ao grupo dos actinídeos. É o elemento natural de maior número atômico, superado apenas por, talvez, traços de netúnio e plutônio. Acredita-se que seja o produto do decaimento de elementos de números atômicos ainda mais elevados, que existiram em alguma época no Universo.

Trata-se de um metal radioativo prateado, maleável, dúctil e menos duro do que o aço, que, quando exposto ao ar, forma em sua superfície uma camada de óxido. O Urânio é considerado mais abundante que o mercúrio, o antimônio, a prata e o cádmio e tão abundante quanto o molibdênio e o arsênio. Ocorre em diversos minerais como uraninita (uranato complexo de uranilo e chumbo, e que pode conter lantâncio, tório, ítrio. Também chamada pechblenda, do inglês pitchblende), carnotita (uranovanadato de potássio e sódio), autunita (fosfato de urânio e cálcio hidratado), torbernita (fosfato de urânio e cobre hidratado), zeunerita (arsenato de cobre e urânio hidratado). Também encontrado em rochas com fosfatos, na linhita (carvão fóssil, estágio intermediário entre a turfa e o carvão betuminoso) e em areais com monazita (fosfato de cério, lantâncio, praseodímio, neodímio, com óxido de tório).

### **1.2 BREVE HISTÓRICO NO BRASIL**

Em 1952, o Conselho Nacional de Pesquisas – CNPq iniciou a primeira prospecção sistemática de minerais radioativos no Brasil. Em 1956 o processo de prospecção passou a ser feito através da recém-criada Comissão Nacional de Energia Nuclear – CNEN, e, a partir de 1970, com uma aplicação mais substancial de recursos financeiros e

com a participação da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM na execução, até 1974 as reservas do país somavam um total de 11.040t de  $U_3O_8$ . Após a criação da NUCLEBRÁS em dezembro de 1974, os estudos das reservas brasileiras foram direcionados às metas do Programa Nuclear Brasileiro de busca por autonomia energética, que, por ocasião da chamada primeira “crise do petróleo” de 1973, destinou grandes investimentos à prospecção, pesquisa, desenvolvimento de métodos e técnicas de trabalho e lavra de jazidas de urânio no país. Um grande número de ambientes geológicos favoráveis ao estudo detalhado foi delimitado, resultando na revelação de novas jazidas, entre elas as províncias de Itataia (CE) em 1976 e Lagoa Real (BA) em 1977, levando o Brasil a ocupar no “ranking” mundial de reservas de urânio o sétimo lugar em que se encontra atualmente.

Em 1988 a NUCLEBRÁS foi transformada em Industrias Nucleares Brasileiras – INB, permanecendo até os dias atuais, englobando as funções do ciclo do combustível nuclear desde a mineração, passando pelo enriquecimento até a fabricação do combustível nuclear. Em 1982 começam os testes de Angra 1, que operou comercialmente a partir de 01.01.1985. Angra 2 entrou em operação em 21.06.2000. Angra 3 tem uma previsão de entrada em produção em 2013/15.

## **2. RESERVAS**

### **2.1 RESERVAS MUNDIAIS**

O urânio é um minério relativamente comum, o qual se distribui sobre toda a crosta terrestre aparecendo como constituinte da maioria das rochas. Segundo as Indústrias Nucleares Brasileiras – INB, para que as reservas de urânio sejam consideradas economicamente atrativas, é necessário avaliar o teor de urânio presente, bem como as alternativas tecnológicas utilizadas em seu aproveitamento. Neste sentido, considerando-se que o quilo (kg) de urânio possa ser obtido a custos inferiores a US\$130.00, as reservas mundiais se distribuem conforme a tabela abaixo:

**Tabela 1**  
**RECURSOS ASSEGURADOS E INFERIDOS A US\$ 130 POR QUILO**  
**- 1995 E 2007**

País	Quantidade (em mil ton.)	Participação		
		2007	2005	1995
Austrália	1243	23%	24%	29%
Cazaquistão	817	15%	17%	18%
Rússia	546	10%		
África do Sul	435	8%	7%	9%
Canadá	423	7%	9%	11%
EUA	342	6%	7%	4%
Brasil	309	5,60%		
<b>Total Mundo</b>	<b>5469</b>			

Fonte: *World Nuclear Association*

Assim, é possível constatar que os cinco países detentores das maiores reservas possuem juntos, 65% dos recursos conhecidos e inferidos do mundo. Destaque-se que a Austrália é o país com menor custo de mineração do urânio. Mais de 90% de suas reservas estimam um custo de mineração inferior a US\$ 40/kg, segundo o relatório *Uranium Mining, Processing and Nuclear Energy*, do governo Australiano. Novas reservas poderão ser viabilizadas economicamente, de acordo com o desempenho dos preços do urânio.

Na medida que houver valorização da cotação do urânio, novas reservas serão viabilizadas economicamente. As reservas deste elemento, para que se tornem economicamente atrativas, dependem do teor de urânio presente, sua cotação no mercado e da existência de alternativa tecnológica usada para o seu aproveitamento, além dos custos de extração.

## 2.2 RESERVAS NO BRASIL

Embora não possua todo o seu território prospectado, o Brasil figura atualmente como detentor da sétima maior reserva de urânio do mundo, com 309 mil toneladas de  $U_3O_8$  nos Estados da Bahia e Ceará. Existem ainda, ocorrências uraníferas associadas a outros minerais, como aqueles encontrados nos depósitos de Pitinga no Estado

**Mapa 1**  
**INSTALAÇÕES E RESERVAS DE URÂNIO NO BRASIL**



Fonte: INB

**Tabela 2**  
**RESERVAS DE URÂNIO DO BRASIL- 2007**  
(em toneladas de  $U_3O_8$ )

Depósito-Jazida	Medidas e Indicadas		Inferidas		TOTAL
	<40US\$/kg U	<80US\$/kg U	Sub-Total	<80US\$/kg U	
Caldas (MG)		500t	500t	4.000t	4.500t
Lagoa Real/Caetité (BA)	24.200t	69.800t	94.000t	6.770t	100.770t
Santa Quitéria (CE)	42.000t	41.000t	83.000t	59.500t	142.500t
Outras				61.600t	61.600t
<b>TOTAL</b>	<b>66.200t</b>	<b>111.300t</b>	<b>177.500t</b>	<b>131.870t</b>	<b>309.370t</b>

Fonte: INB/DNPM

do Amazonas e área de Carajás, no Estado do Pará, com um potencial adicional estimado de 150.000t para cada área. Atualmente, podemos estimar um potencial de reservas da ordem de 900.000 t, com a realização de novas pesquisas e avaliação/cubagem das ocorrências identificadas. Comparando com os dados da tabela 1, o Brasil pode se reposicionar como segunda reserva mundial de urânio. A tabela 03 compara a potencialidade do Brasil em relação ao Canadá e a Austrália. O Brasil investiu em pesquisa mineral de urânio até 1985, recursos estimados da ordem de 160 a 180 milhões de dólares. Com os novos recursos tecnológicos e áreas ainda pendentes de pesquisa mineral para urânio, temos um grande potencial para novas descobertas. As possibilidades de flexibilização do monopólio da exploração do urânio é outro ponto que pode contribuir para a elevação das reservas, com a entrada do capital privado. Empresas como a Vale já pronunciaram interesse neste setor.

Ressalte-se que apenas em 25% do território nacional foram realizados estudos de prospecção e pesquisas geológicas, o que permite inferir que reserva uranífera brasileira pode ser ampliada com novos

trabalhos de prospecção e pesquisa mineral. Ademais, o custo de mineração de urânio no Brasil situa-se abaixo de US\$ 80 / kg, conforme é possível verificar na tabela abaixo:

**Tabela 3**  
**EVOLUÇÃO DAS RESERVAS DE URÂNIO DO BRASIL**  
**EM TONELADAS DE  $U_3O_8$**

Características	BRASIL	AUSTRÁLIA	CANADA
Áreas pré-cambrianas (km quadrados)	3.400.000	3.800.000	4.000.000
Exploração (US\$ mi)	180	1.288	509
Reservas (1.000 t)	309	1.058	438
Custo descoberta (US\$/KgU)	1,28	1,58	0,43
Produção anual- 2003 (t)	230	9.500	11.600
Exportação (t)	-	9.000	11.000

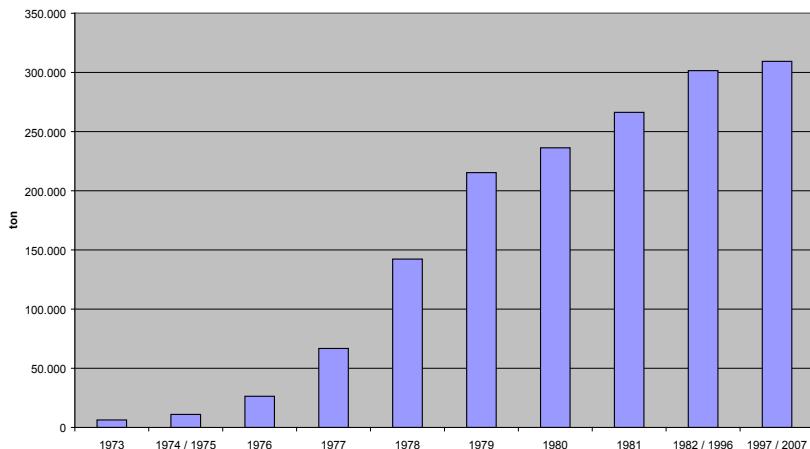
Fonte: INB

**Tabela 4**  
**EVOLUÇÃO DAS RESERVAS DE URÂNIO DO BRASIL**  
**EM TONELADAS DE  $U_3O_8$**

RESERVAS DE URÂNIO	UNIDADE: t
ANOS	$U_3O_8$
1973	6.292
1974 / 1975	11.040
1976	26.380
1977	66.800
1978	142.300
1979	215.300
1980	236.300
1981	266.300
1982 / 1996	301.490
1997 / 2007	309.370

Fonte: INB /DNPM

**Gráfico 1**  
**EVOLUÇÃO DAS RESERVAS BRASILEIRAS DE URÂNIO**  
(em toneladas)



A INB em seu relatório de atividades de 2007 e 2008, informa que iniciou as atividades para a retomada da prospecção de urânio no país, com o objetivo de reavaliar o potencial das reservas brasileiras e aumentar a produção deste recurso mineral. No relatório de atividades de 2008, a INB informa que contratou a CPRM (SGM) para realização de pesquisas na região de Rio Cristalino (PA), retomando trabalhos de prospecção e pesquisa na região.

## 2.2.1 Distrito de Lagoa Real

O Distrito Uranífero de Lagoa Real está localizado no Estado da Bahia, foi descoberto entre 1976 e 1977, com a identificação de 19 áreas mineralizadas. Um trabalho mais detalhado de aerogamaespectrometria levou à descoberta de 33 ocorrências uraníferas adicionais, também avaliadas, segundo dados da INB. O projeto básico de mina foi concluído em 1996, viabilizando a lavra à céu-aberto na jazida da Cachoeira (anomalia 13). Esta anomalia com teor médio de 3.000 ppm prevê a produção de cerca 400 t/ano de urânio (atendendo as necessidades de Angra 1 e 2). A INB também tem planos para fazer a extração subterrânea do minério de urânio.

## 2.2.2 Depósito de Santa Quitéria

O depósito de Santa Quitéria está localizado na parte central do Estado do Ceará, situada a 212 km de Fortaleza,. Segundo dados da INB, a jazida de Santa Quitéria possui reservas geológicas de 142,5 mil t de urânio associado ao fosfato. A reserva lavrável tem 79,5 Mt de minério com teores de 11% de  $P_2O_5$  e 998ppm de  $U_3O_8$ , contendo 8,9 Mt de  $P_2O_5$  e 79,3 mil toneladas de  $U_3O_8$ . Nessa jazida pode-se aproveitar também cerca de 300 milhões de  $m^3$  de mármore, totalmente isento de urânio. Embora seja a maior reserva de urânio que o país possui, sua viabilidade econômica é dependente da exploração do fosfato associado. A INB licitou em 2008 a empresa fará o aproveitamento do fosfato (Vale, Bunge, Galvani), permitindo aproveitar o urânio associado. A empresa Galvani venceu a licitação.

### 3. PRODUÇÃO

#### 3.1 PRODUÇÃO MUNDIAL

Temos duas fontes principais de urânio: a produção primária e a produção secundária. A fonte primária refere-se à extração em novas minas. A fonte secundária diz respeito ao urânio enriquecido. A abundância e disponibilidade da produção secundária de urânio nos anos 60 comprimiram os preços de urânio, inibindo a atração de novos investimentos no setor. Nos anos 80 e 90, a indústria de urânio recebeu poucos investimentos tendo em vista os baixos preços do minério. Hoje, a oferta primária é bastante relevante, em função do esgotamento das fontes secundárias.

A produção mundial, excluindo a antiga URSS e os países do leste, caiu de um pico de 52.000 t de  $U_3O_8$  por ano em 1980/81 para

cerca de 32.000 toneladas de  $U_3O_8$  em 1991, 27.500 toneladas de  $U_3O_8$  em 1992 e 25.700 toneladas de  $U_3O_8$  em 1993, em consequência de um mercado adverso, decorrente de diminuição do ritmo de crescimento dos programas nucleares nos últimos anos em relação às previsões anteriores e formação de grandes estoques.

Outra razão da queda de produção ocidental foi a maior disponibilidade de urânio a baixo preço dos países da Comunidade dos Estados Independentes (ex-URSS). O Canadá com uma produção de 14.190 t de  $U_3O_8$  em 1997 (13.900 toneladas de  $U_3O_8$  em 1996, 12.430 t de  $U_3O_8$  em 1995, 11.500 t de  $U_3O_8$  em 1994), é o maior produtor mundial, responsável por 34% da produção mundial, seguindo-se a Austrália com 16%. A capacidade total de produção mundial de urânio, incluindo a URSS e os países do leste é de cerca de 56.500 t de  $U_3O_8$  por ano e a produção efetiva foi de 41.500 t de  $U_3O_8$  em 1996 e de 42.100 t de  $U_3O_8$  em 1997. As quase 450 usinas de energia nu-

**Tabela 5**  
**MAIORES EMPRESAS PRODUTORAS DE URÂNIO ( $U_3O_8$ ) DO MUNDO – 2005**

Mina	País	Proprietário	Produção (t)	% Prod. mundial
McArthur River	Canadá	Cameco	7.200	17%
Ranger	Austrália	ERA (Rio Tinto)	5.000	12%
Olympic Dam	Austrália	BHP Biliton	3.700	9%
Rossing	Namíbia	Rio Tinto	3.100	7%
krazbokamensk	Rússia	TVEL	3.000	7%
Rabbit Lake	Canadá	Cameco	2.300	5%
McClean Lake	Canadá	Cogema	2.100	5%
Akouta	Níger	Areva/Onarem	1.800	4%
Arlit	Níger	Areva/Onarem	1.300	3%
Beverley	Austrália	Heathgate	800	2%

Fonte: World Nuclear Association / WNA Market Report data

clear atualmente ativas consomem cerca de 64.000 t a 70.000 t de concentrado de urânio. Em 2006, o Canadá foi responsável por 24% da produção mundial, seguidas pela Austrália, casaquistão e Nigéria (com respectivamente 19,1%, 13,3% e 8,7%. Os quatro maiores países produtores concentraram 66% da produção mundial.

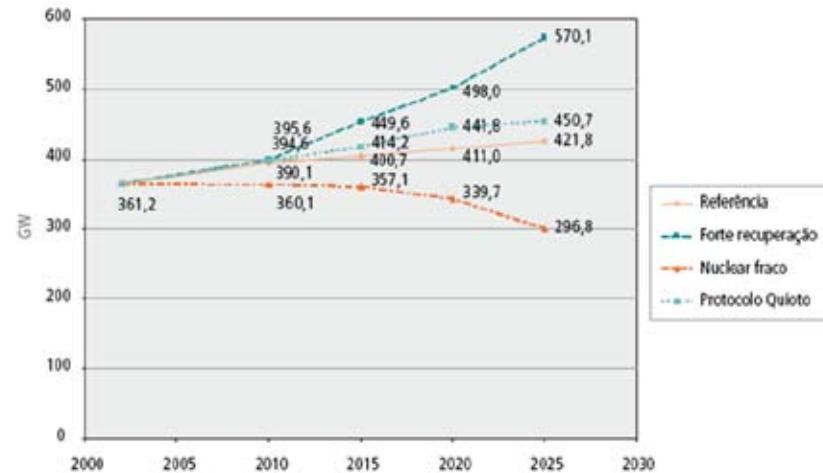
Para a indústria, um benefício advindo daqueles anos difíceis, foi a sua consolidação substancial. Atualmente, as oito maiores companhias são responsáveis, juntas, por 78% da produção mundial, proporcionando uma maior eficiência ao setor, bem como uma maior capacidade de aumentar preços aos produtores. Como uma consequência, hoje o preço do urânio é mais elevado e o aumento projetado da demanda renova o interesse na mineração de urânio.

Alguns países tradicionalmente produtores de *yellowcake*<sup>1</sup> vêm aumentando a capacidade de suas plantas, como é o caso do Canadá e da Austrália. De acordo com a *World Nuclear Association* – WNA, mais da metade da produção de urânio do mundo é realizada por estes dois países, conforme dados referentes a 2005. Segundo a WNA, a perspectiva é que a produção mundial de urânio dobre até 2030. Contudo, dado o crescimento esperado da demanda, em função principalmente de um maior número de usinas nucleares, com vista à produção de energia, projeta-se um descasamento entre a produção e o consumo de urânio, a partir de 2009.

Além disso, há fontes secundárias de fornecimento de combustível nuclear: os estoques existentes, civis e militares, de minério natural e enriquecido, o reprocessamento do urânio já usado e o reenriquecimento da sobra de material usado no processo de enriquecimento.

Outros fatores que influenciarão a demanda de urânio nos próximos anos são: a eficiência das plantas existentes (usinas e fábricas de combustível), a extensão da vida útil das usinas existentes e o enriquecimento exigido e a eficiência no uso do combustível pelas

**Gráfico 2**  
**CENÁRIOS EIA PARA ENERGIA NUCLEAR NO MUNDO**



Fonte: EPE, a partir de EIA/DOE, 2005.

novas plantas. A tecnologia usada também influenciará o consumo, visto que os reatores rápidos potencializam o seu próprio combustível, além de permitir o uso de outros materiais, como tório e U<sub>238</sub>.

No horizonte até 2020, os estoques existentes com custo de exploração abaixo de US\$40/kgU podem, no máximo, suprir de 53 a 58% da necessidade de combustível. Mesmo acrescentando os estoques com custo abaixo de 80 US\$/kgU, esta taxa chega a 73 a 85% somente. Além disso, os estoques secundários devem se esgotar por volta de 2020, o que obrigará uma expansão das minas existentes e a abertura de novas. Atualmente os combustíveis fósseis fornecem cerca de 87% da energia mundial e as centrais nucleares, apenas 4,8%. As estimativas mais otimistas mostram que cerca de 5,5 Mt de urânio podem ser consideradas reservas (existem estimadamente 35 Mt de recursos de urânio identificados, independentes de seu custo de extração). Com a taxa atual de consumo atual de urano na faixa das 70.000 t anuais, as

<sup>1</sup> Yellowcake: urânio que, após a mineração, é extraído do minério purificado e concentrado sob a forma de um sal de cor amarela.

reservas atuais de urânio podem ser exploradas por cerca de 80 anos. Uma política de maior utilização de urânio teria um impacto muito alto no nível atual das reservas de urânio.

Portanto, a oferta e a produção de urânio deverão se ajustar às mudanças que o setor nuclear deverá sofrer nas próximas décadas. Além dos recursos convencionais, há minas de urânio associadas a fosfato, urânio contido na água do mar, e o uso de reatores rápidos e reciclagem de combustível podem estender o uso da energia nuclear por muito tempo (NEA/IAEA, 2004). O desenvolvimento destes recursos, porém, exigirá esforço e investimentos, elevando o preço do combustível.

### 3.2 PRODUÇÃO BRASILEIRA

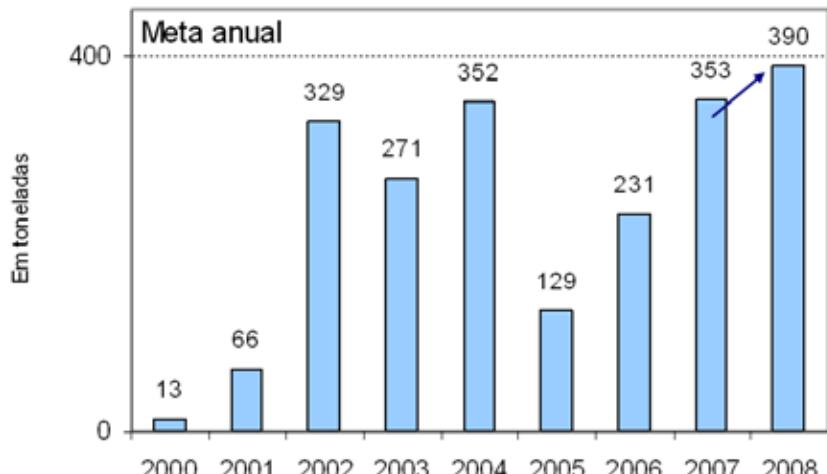
A produção brasileira de urânio é realizada pelas Indústrias Nucleares Brasileiras – INB. A mina de Poços de Caldas produziu entre 1981 e 1995 cerca de 1200 t de concentrado de urânio. Esta mina tinha um teor médio de 800 PPM (partes por milhão), bem menos rico que Caetité (com potencial para atingir 3.000 PPM).

Hoje, apenas a mina de Caetité, no Sudeste da Bahia, está em atividade (desde 2000). Este empreendimento – mina de urânio associado à fábrica de concentrado – está capacitado a uma produção de 400 t /ano de *yellowcake*, que além de atender a demanda interna, abastecendo as duas usinas nucleares existentes no País (Angra 1 e 2) e demandas de pesquisas médicas e agrícolas, torna o país auto-suficiente na produção do minério. Segundo a INB, a meta programada de 360 t para 2007 não foi atingida devido a questões climáticas, falta de água e ácido sulfúrico comprometeram a meta, atingindo 353 t de  $U_3O_8$ . Para 2008 a meta era uma produção de 400 t, sendo atingidas cerca de 390 toneladas.

A vida útil da mina de Caetité está prevista para 50 anos. Com a decisão de operar Angra III, já existe uma meta de produção de 800 toneladas de  $U_3O_8$  visando garantir a auto-suficiência. Para tanto, será implementada a lavra subterrânea a partir de 2010/11. Em 2008 será iniciada a construção da rampa de acesso aos corpos mineralizados.

O processo de lixiviação em pilhas será substituído pelo processo de lixiviação agitada, mais eficiente e com melhor rendimento. Estima-se uma elevação da recuperação do Urânio em cerca de 10%. Caetité está com uma estimativa de dobrar a produção entre 2011 e 2012 para atender a usina de Angra III.

**Gráfico 3**  
**PRODUÇÃO BRASILEIRA DE  $U_3O_8$ : 2000 A 2008**



Fonte: INB

Obs: a produção acima corresponde a mina de Caetité (BA), uma vez que a Mina de Poços de Caldas funcionou até 1995.

**Tabela 6**  
**EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO E TEORES DE CAETITÉ – 2000-2007**

Ano	Minério Beneficiado (t)	Teor Médio de U no Minério (%)	Produção de U (t U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
2000	56.569	0,181	13
2001	36.400	0,172	66
2002	155.460	0,226	329
2003	157.832	0,194	271
2004	198.944	0,186	352
2005	49.973	0,250	129
2006	153.378	0,209	231
2007	190.033	0,230	353

Fonte: INB

Nos próximos quatro anos (em 2012), a produção brasileira de urânio deverá duplicar e corresponder a 0,8 mil toneladas, conforme estimativas da INB. Para 2012, a produção adicional de 1000 toneladas virá com o início das atividades da mina Santa Quitéria, localizada no Estado do Ceará. Esse volume colocará o País na quinta colocação do ranking mundial dos maiores produtores da matéria-prima, atrás do Canadá (11,6 mil t/ano e 28% da oferta total), Austrália (9,5 mil t / ano), Cazaquistão (4,3 mil t/ano) e Rússia (entre 3,4 mil t/ano), de acordo com dados da WNA.

**Tabela 7**  
**PROJEÇÃO DA PRODUÇÃO POTENCIAL DE U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> NO BRASIL ATÉ 2013**

Ano	Produção de U em Caetité – BA (t de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Produção de U em Santa Quitéria – CE (t de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	Produção de Urânio (t de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )
2009	400	-	400
2010	500	-	500
2011	800	-	800
2012	800	1.000	1.800
2013	800	1.200	2.000

Fonte: INB

## 4. MERCADO CONSUMIDOR

O minério de urânio atende diversos setores industriais através do fornecimento de matéria-prima (ilmenita, zirconita e rutilo) para a indústria siderúrgica, automobilística, de fibras óticas e de cerâmicas especiais. Até a II Guerra Mundial, os minérios de urânio constituíam apenas uma fonte comercial de rádio (Ra). Os sais de urânio tinham aplicações limitadas (fotografia, cerâmica). Com o desenvolvimento da indústria nuclear, o urânio passou a ser usado em armas e reatores nucleares.

Atualmente, embora seja também utilizado na medicina e na agricultura, sua principal aplicação comercial é na geração de energia elétrica, na qualidade de combustível para reatores nucleares de potência. Assim, a demanda global de urânio é formada por diversos países que utilizam a energia nuclear na sua matriz energética.

### 4.1. O URÂNIO COMO FONTE DE ENERGIA

O crescimento da população e da economia mundial tem gerado uma demanda cada vez maior por energia. A alta dos preços de petróleo e gás e as preocupações quanto às emissões de gás carbônico e o aquecimento global tem evidenciado a necessidade de uma outra fonte alternativa de geração de energia, que minimize os efeitos causados pelas fontes mais utilizadas atualmente: petróleo e carvão. Além disso, as principais fontes de suprimento de petróleo encontram-se em áreas de grande instabilidade política. Tudo isto, corrobora com a tendência mundial de diversificação da matriz energética e da matriz elétrica. Neste contexto, o urânio apresenta-se como fonte alternativa de energia, na forma de combustível para a energia nuclear.

Dentre as vantagens da utilização da energia nuclear quando utilizada para a produção de energia elétrica está o seu índice zero de emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, o que não ocorre com as centrais térmicas convencionais. A energia nucleoelétrica não emite nenhum gás de

efeito estufa (dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e outros), nenhum gás causador de chuva ácida (dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio), bem como não emite nenhum metal carcinogênico, teratogênico ou mutagênico (arsênio, mercúrio, chumbo, cádmio, etc.) como as alternativas que utilizam combustível fóssil o fazem. A utilização da energia nuclear também não libera gases ou partículas que causem poluição urbana ou diminuição da camada de ozônio.

O grande desafio é a armazenagem segura dos resíduos gerados pelas usinas de energia nuclear. Além disso, o mesmo processo de enriquecimento de urânio utilizado para produzir combustível pode ser empregado para a utilização em armas atômicas, mostrando uma preocupação com sua utilização.

O Urânio é uma fonte de energia não renovável. Segundo dados da Empresa de Pesquisa Energética – EPE, a participação das fontes de energia não renováveis no mundo cresceu de 41,6% em 1970 para 55,6% em 2006. Em 2004, 6,5% da estrutura de oferta de energia mundial era referente à energia advinda do urânio e derivados, contra apenas 0,9% em 1973.

De acordo com a *World Nuclear Association*, em janeiro de 2007 existiam 435 usinas nucleares em operação, com capacidade de geração total de 368.860 megawatts e 28 usinas em construção. Os Estados Unidos possuem 103 usinas em operação (98,254 MW), em seguida, vem a França, com 59 (63,47 MW) e o Japão, com 55 usinas responsáveis por 47,7 MW. Quantos às usinas em construção, os países com maiores quantidades são Índia (7), China (5) e Rússia (3).

A energia nuclear deverá desenvolver seus reatores segundo quatro princípios:

- energia sustentável: disponibilidade estendida do combustível, impacto ambiental positivo;
- energia competitiva: custos baixos e períodos de construção mais curtos;
- sistemas seguros e confiáveis: características de segurança inerentes, visando conseguir confiança pública na segurança da energia nuclear; e
- resistência à proliferação de armas nucleares.

## 4.2. CONSUMO MUNDIAL DE URÂNIO

Existem no mundo, cerca de 435 usinas nucleares em funcionamento em 31 países (265 reatores PWR- urânio enriquecido e água leve pressurizada, do mesmo tipo de Angra I e II). Além das usinas ativas, existem ainda cerca de 30 usinas em construção, 74 em fase de planejamento e estimadamente mais 162 propostas de novos projetos.

**Tabela 8**  
QUANTIDADE DE USINAS NOS PRINCIPAIS PAÍSES

A geografia atômica – Principais países consumidores			
	País	% de geração de energia nuclear	Quantidade de usinas nucleares ativas
1	EUA	19,4	104
2	França	78,0	59
3	Japão	30,0	54
4	Inglaterra	18,4	32
5	Rússia	15,9	30
6	Canadá	15,0	20
7	Alemanha	31,8	19
8	Coreia	38,6	16
9	Índia	2,8	14
10	Ucrânia	51,1	13
24	Brasil	2,2	2

Fonte: International Nuclear Safety Center e WNA

### 4.3. CONSUMO DE URÂNIO NO BRASIL

O Brasil possui duas usinas tipo PWR (urânio enriquecido e água leve pressurizada), situadas no município de Angra dos Reis – RJ. Angra I, de tecnologia Westinghouse, teve sua construção iniciada em maio de 1971, foi conectada à rede elétrica em abril de 1982 e iniciou sua operação comercial em janeiro de 1985. A usina tem capacidade instalada de 657 MW, sendo 626 MW líquidos (disponíveis para a rede). Angra II é uma usina com reator PWR também, porém de tecnologia Siemens (empresa KWU – Kraftwerk Union A. G.), adquirida durante a vigência do acordo Brasil-Alemanha. A construção começou em janeiro de 1976, tendo entrado em operação comercial em fevereiro de 2001. A usina tem capacidade instalada de 1.350 MW, sendo 1.275 MW líquidos.

Angra III é uma usina com as mesmas características que Angra II, com potência bruta de 1.435 MW, sendo 75 MW para consumo próprio – 1.360 MW líquidos (Eletronuclear, 2005). Angra III foi comprada da KWU em 1976, juntamente com Angra II. Diversos equipamentos foram adquiridos e o início das obras se fez em junho de 1984, tendo se estendido até abril de 1986, quando as obras foram paralisadas.

Além disto, brevemente o Governo Federal irá anunciar o início da construção da usina Angra III, adicionando mais 1350 MW ao sistema energético. Teremos assim, um parque de energia nuclear gerando 3300 MW consumindo 750 t/ano de  $U_3O_8$ . Atualmente as reservas brasileiras permitem atender estas necessidades por 520 anos., mantendo-se as reservas neste nível. A geração de energia nuclear ganha um novo contexto de importância estratégica e pela necessidade de expansão do parque gerador de energia brasileiro em 3.000 MW/ano.

Segundo o relatório de atividades da INB de 2007, o governo decidiu pela construção de 9 novas usinas até 2030.

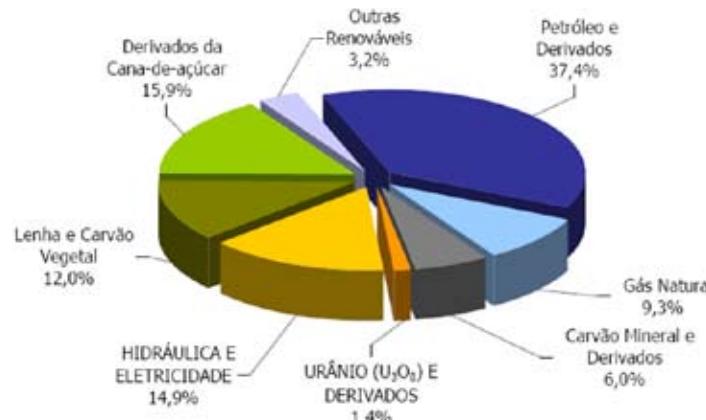
#### 4.2.1 Utilização do Urânio como fonte de energia no Brasil

A perspectiva de crescimento da economia brasileira ressalta a necessidade de novos investimentos em projetos de energia elétrica. Além disso, tanto quanto no restante do mundo, existe uma tendência de diversificação da matriz energética. No Brasil, segundo a EPE,

75,9% da energia elétrica é originada da fonte hidráulica, uma fonte renovável. Outro fator relevante é a necessidade de redução de gás carbônico na atmosfera. Cabe destacar que o Brasil emitiu em 2004, 1,76 t de  $CO_2$  por habitante. No mundo, a média foi de 4,18 t e na América Latina, 2,05 toneladas, segundo dados da EPE. Embora o Brasil destaque-se com indicadores de emissão daquele gás bem inferiores à média global, tendo em vista a característica de sua matriz energética, ainda existe espaço para a diversificação e o aumento da produção de energia. Neste sentido, a produção de energia nuclear apresenta-se como alternativa para a realização destes objetivos.

O Brasil possui atualmente, duas usinas de energia nuclear em operação (Angra 1 e Angra 2). De acordo com a Eletronuclear, Angra 1 possui capacidade para geração de 657 megawatts elétricos, e Angra 2, pode gerar 1.350 MW. Angra 3, que será praticamente uma réplica de Angra 2 (incorporando os avanços tecnológicos ocorridos desde a construção desta usina), também está prevista para gerar 1.350 MW. Em 2005, Angra I e II geraram 9.850 GWh.

**Gráfico 4**  
**ESTRUTURA DA OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL – 2007**



Fonte: EPE – Dados Preliminares do Balanço Energético Nacional 2006

Os dados preliminares a respeito da evolução da produção e consumo das principais fontes energéticas, divulgados pela Empresa de Pesquisa Energética, permitem uma visão da Matriz Energética Brasileira no ano de 2006.

A oferta da energia não renovável advinda do urânio e derivados cresceu 38,5% no ano de 2006, comparando-se com 2005. Muito embora este incremento tenha sido relativamente alto, o percentual de participação desta energia na estrutura de oferta brasileira é pequeno, tendo sido de 1,2% em 2005 e 1,5% em 2006 (um crescimento de 30%). Contudo, este aumento de participação reflete o crescimento na geração de energia elétrica a partir do urânio, de 9,9 TWh em 2005 para 13,8 TWh em 2006, sendo que, no Brasil, a oferta total de energia elétrica em 2006 foi de 461,3 TWh.

**Tabela 8**  
**BALANÇO ENERGÉTICO DE 2007**

BEN 2008 OFERTA INTERNA DE ENERGIA		UNIDADE: 10 <sup>6</sup> tep		
		2007	2006	Δ%
<b>OFERTA TOTAL</b>	<b>238,8</b>	<b>226,1</b>	<b>5,6%</b>	
<b>ENERGIA NÃO RENOVÁVEL</b>	<b>129,1</b>	<b>124,2</b>	<b>3,9%</b>	
PETRÓLEO E DERIVADOS	89,2	85,3	4,6%	
GÁS NATURAL	22,2	21,7	2,2%	
CARVÃO MINERAL E DERIVADOS	14,4	13,5	6,1%	
URÂNIO (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) E DERIVADOS	3,3	3,7	-9,8%	
<b>ENERGIA RENOVÁVEL</b>	<b>109,7</b>	<b>101,9</b>	<b>7,6%</b>	
PRODUTOS DA CANA DE AÇÚCAR	37,8	33,0	14,7%	
HIDRÁULICA E ELETRICIDADE (*)	35,5	33,5	5,9%	
LENHA E CARVÃO VEGETAL	28,6	28,6	0,1%	
OUTRAS RENOVÁVEIS	7,7	6,8	13,7%	

(\*) 1 kWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico – primeiro princípio da termodinâmica).  
Fonte: EPE

No geral, a demanda brasileira por todas as formas de energia (que no jargão técnico é chamada de Oferta Interna de Energia) cresceu 5,9% em 2007, totalizando 239,4 Mt equivalentes de petróleo (tep). O maior crescimento dentre todas as fontes, na comparação entre os dois últimos anos, ficou com os produtos da cana-de-açúcar, cuja oferta cresceu 17,1%. A forte expansão reflete o crescimento do consumo do etanol e o uso mais intenso do bagaço para geração de energia termelétrica. A participação das fontes renováveis na Matriz Energética Brasileira elevou-se de 44,9% em 2006 para 46,4% em 2007. Para efeito de comparação, a proporção de fontes renováveis na matriz energética mundial é de 12,7%, enquanto que nos países-membros da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) – na sua maioria desenvolvidos – essa relação é de apenas 6,2%.

#### 4.2.2 Cenários de Produção de energia eletro nuclear no Brasil

Nível de dependência no Ciclo do Combustível (fator crítico):

Cenários de dependência no ciclo:

- Dependente parcial
  - Auto-suficiência em: prospecção, mineração, beneficiamento, fabricação de pó (yellow-cake) e pastilhas, fabricação de elementos combustíveis
  - Dependência internacional: parcial em enriquecimento e total em conversão
  - Exportação: serviços de pó e pastilhas, fabricação de elementos combustíveis e U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>
- Auto-Suficiente
  - Auto-Suficiente em: prospecção, mineração, beneficiamento, conversão, enriquecimento, fabricação de pó e pastilhas, e fabricação de elementos combustíveis
  - Dependência internacional: 0%
  - Exportação de: pó, pastilhas, serviços de fabricação de elementos combustíveis, U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

**Tabela 9**  
**GERAÇÃO NUCLEOELÉTRICA NO BRASIL – PNE 2030**

Usina	Potência (MW)	Conc. U3O8 (t)	Conversão UF6 (t)	Enriquecimento UTS (t)	Elemento Combustível	Status
Angra 1	650	150	128	90	17	Em operação
Angra 2	1350	290	246	176	30	Em operação
Angra 3	1350	290	246	176	30	2013/15
Sub total 1		730	620	442	77	
Nuclear 4	1000	225	190	135	24	Prev. 2020
Nuclear 5	1000	225	190	135	24	Prev. 2025
Nuclear 6/7	2x1000	450	380	270	48	Prev 2030
<b>Total</b>	<b>7.350</b>	<b>1.630</b>	<b>1.380</b>	<b>982</b>		

Fonte: INB

- Exportador
  - Auto-Suficiente em: prospecção, mineração, beneficiamento, conversão, enriquecimento, fabricação de pó e pastilhas, e fabricação de elementos combustíveis
  - Dependência internacional: 0%
  - Exportação de:  $U_3O_8$ , serviços de conversão, serviços de enriquecimento, pó, pastilhas, serviços de fabricação de elementos combustíveis e componentes.

#### 4.2.3 Combustível nuclear no Brasil

No Brasil, as Indústrias Nucleares do Brasil (INB), uma empresa de economia mista, vinculada à Comissão Nacional de Energia Nuclear – (CNEN) e subordinada ao Ministério da Ciência e Tecnologia, é responsável pela exploração do urânio, desde a mineração e o beneficiamento primário até a produção e montagem dos elementos

combustíveis que acionam os reatores de usinas nucleares. O conjunto dessas atividades constitui o Ciclo do Combustível Nuclear.

As usinas nucleares são centrais termoelétricas – como as convencionais – compostas de um sistema de geração de vapor e sua geração decorre devido à fissão de núcleos de átomos de urânio.

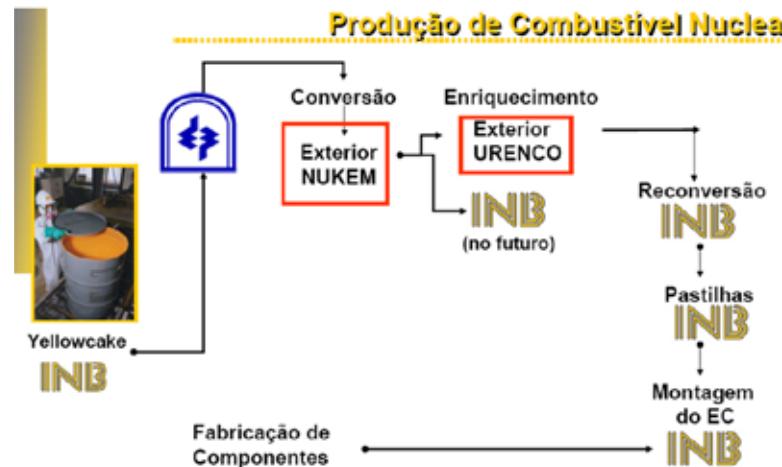
O processo de beneficiamento<sup>2</sup> do minério de urânio é o de lixiviação em pilhas (estática). Depois de britado, o minério é disposto em pilhas e irrigado com solução de ácido sulfúrico para a retirada do urânio nele contido. Esta técnica dispensa fases de moagem, agitação mecânica e filtração, permitindo, além de uma substancial redução nos investimentos, uma operação a custos menores, em face do reduzido número de equipamentos e unidades operacionais envolvidos. A concentração do urânio é realizada pelo processo de extração por solventes orgânicos, seguida da separação por precipitação, secagem e acondicionamento em tambores. O concentrado tem a forma de um sal de cor amarela, conhecido como “yellowcake”,

matéria prima para produção do combustível da energia gerada em um reator nuclear.

O “yellow cake” então é transportado ao Canadá, onde é gaseificado. De lá, o produto segue para a Europa, onde é enriquecido em unidades da Urenco, uma das maiores companhias especializadas em enriquecimento de urânio no mundo.

Para gerar o combustível que a usina transforma em energia elétrica, o urânio é primeiramente transformado em gás e depois enriquecido, ou seja, tem sua capacidade de gerar energia aumentada. Na etapa seguinte, o urânio é transformado em pó e, em seguida em pastilhas. As pastilhas são colocadas em varetas que vão formar o elemento combustível. O reator de uma usina como Angra I leva 121 elementos combustíveis. Em cada um deles, estão alinhadas 235 varetas. Ao todo, no reator, são colocadas 11 milhões de pastilhas. Estas pastilhas de dióxido de urânio ( $UO_2$ ), que tem a forma de um cilindro de mais ou menos um centímetro de comprimento e de diâmetro.

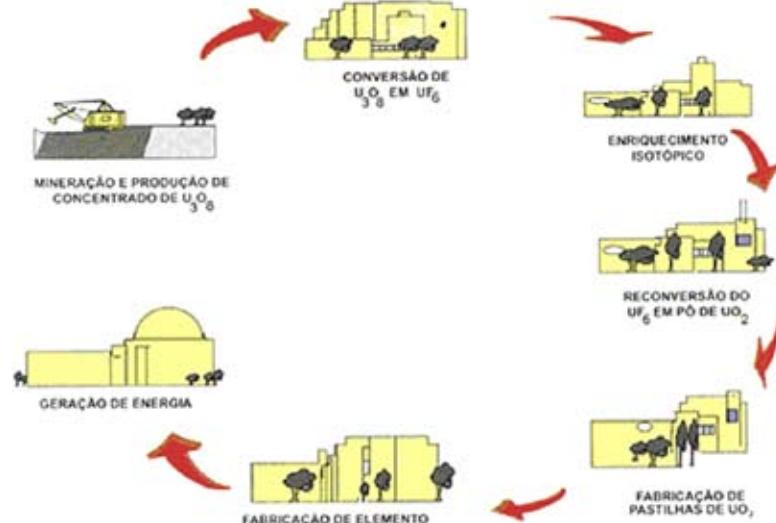
**Esquema 1**  
**CICLO DE PRODUÇÃO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR**



Fonte: INB

O Elemento Combustível é a fonte geradora do calor para geração de energia elétrica em uma usina nuclear, devido à fissão de núcleos de átomos de urânio. As pastilhas de urânio, antes de serem inseridas nas varetas combustíveis, são pesadas e arrumadas em carregadores e secadas em forno especiais. Um elemento combustível supre de energia 42.000 residências médias durante um mês.

**Esquema 2**  
**CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR**



Fonte: INB

## 5. COMPORTAMENTO DOS PREÇOS

O urânio não é negociado em bolsas de mercado aberto como são outras *commodities*, como o ouro e o petróleo. Compradores e vendedores negociam contratos particulares, normalmente, de longo prazo, cujos preços, no passado, refletiam um prêmio sobre o mercado à vista.

O mercado atual de urânio, que é muito semelhante ao mercado das demais “commodities” é determinado por dois sistemas de preços, um preço “spot” para suprimentos de curto prazo, e preços de contratos de longo prazo. Os preços do mercado “spot”, que tinham atingido um pico de US\$ 43,4/lb  $U_3O_8$  em meados de 1978, cairam para um patamar de US\$ 17/lb  $U_3O_8$  em 1986-87, despencando depois para US\$ 14,50/lb  $U_3O_8$  em 1988, US\$ 10/lb  $U_3O_8$  em 1989, US\$ 9,75/lb  $U_3O_8$  em 1990 e US\$ 7,95/lb  $U_3O_8$ , em 1992. O volume transacionado no mercado “spot” que era de 10-15% da produção anual no período 1980-88, aumentou bruscamente entre 1989 e 1990, atingindo cerca de 50% da produção anual.

Desde 1987 a produção mundial não tem sido suficiente para cobrir a demanda. Em 1996 este déficit foi de cerca de 31.600 toneladas de  $U_3O_8$ , correspondente a uma demanda de 73.100 toneladas de  $U_3O_8$  e uma produção de 41.500 toneladas de  $U_3O_8$ , apenas 57% da demanda. Este déficit vem sendo coberto por estoques existentes. No período de 1990 a 1996, cerca de 161.500 toneladas de  $U_3O_8$  foram utilizadas dos estoques existentes.

Com a queda dos preços do urânio no mercado mundial várias empresas abandonaram o setor, criando-se uma indústria momentaneamente concentrada. De fato três grandes produtores – COGEMA, CAMECO e Rio Tinto – são responsáveis por cerca de dois terços da produção no mercado ocidental e por metade da produção mundial. Isto poderia ter consequências de controle de preços através do controle da produção. Esta preocupação parece não se justificar uma vez que grande parte dos produtores são propriedade de governos ou concessionárias de energia elétrica que tem interesse em manter um preço baixo.

A consolidação ocorrida na indústria de urânio nos últimos anos diminuiu o número de fornecedores do minério. Indicadores de longo prazo continuam apontando para uma curva de demanda superior à oferta, o que deverá resultar em preços de urânio mais elevados.

Os indicadores de preços de urânio são divulgados por um pequeno número de organizações como o que monitoram de forma independente as atividades relativas ao urânio no mercado.

Após um crescimento espetacular nos anos 70, coincidindo com o “boom” inicial da indústria eletronuclear e a crise do petróleo, o preço do óxido de urânio  $U_3O_8$  no mercado *spot* internacional permaneceu, por mais de uma década, relativamente estável, por volta de 11,00 US\$/lb, abaixo dos custos de extração. A partir de outubro de 2003, o preço do urânio novamente assumiu trajetória acentuada de alta, atingindo 43,00 US\$/lb em maio de 2006, ainda assim distante dos preços praticados nos anos 70.

Em junho de 2007, de acordo com as consultorias internacionais Uc Consulting e Trade Tech, o preço do urânio chegou a US\$ 136,00/lb, refletindo o desequilíbrio entre produção e procura. Os estoques mundiais já estão sendo utilizados para atender a demanda vigente. À medida que os estoques mostram redução, novas pressões de alta surgem no mercado.

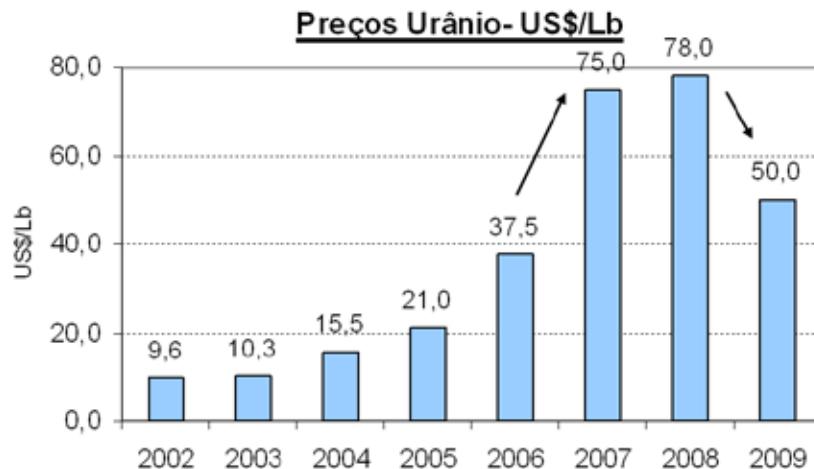
De acordo com a Eletronuclear, no caso de aumento do preço do urânio, a consequência para os custos de geração de energia nuclear não é significativa, pois o combustível não está sujeito a grandes flutuações de preço. Segundo a Eletronuclear, no caso da duplicação do preço do urânio, o custo final aumentaria em torno de 4%. Para efeito de comparação, numa usina de gás, por exemplo, a duplicação do preço geraria um custo de geração 65% maior.

Identificam-se alguns fatores que podem influenciar a demanda de urânio nos próximos anos:

- a eficiência das plantas existentes (usinas e fábricas de combustível);
- a extensão da vida útil das usinas existentes;
- o enriquecimento exigido; e
- a eficiência no uso do combustível pelas novas plantas.

A tecnologia usada também influenciará o consumo, visto que os reatores rápidos potencializam o seu próprio combustível, além de permitir o uso de outros materiais, como tório (EPE, 2006b). No horizonte até 2030, portanto, pode-se prever uma alta no mercado do combustível nuclear, onde o Brasil tem boas vantagens competitivas – recursos minerais relativamente abundantes e domínio da tecnologia de enriquecimento e fabricação do

**Gráfico 5**  
**PREÇOS À VISTA MÉDIOS DA INDÚSTRIA DE URÂNIO-  $U_{3}O_8$  - BASE**  
**JANEIRO-2002/2009**



**Gráfico 6**  
**PREÇOS À VISTA MÉDIOS DA INDÚSTRIA DE URÂNIO**



Fonte: The Ux Consulting Company, LLC.

combustível. As perspectivas da autosuficiência no fornecimento de combustível para as unidades já instaladas (Angra I e II) e para Angra III é real. E há condições de o país ser, até, exportador de combustível nuclear.

## 6. TECNOLOGIA

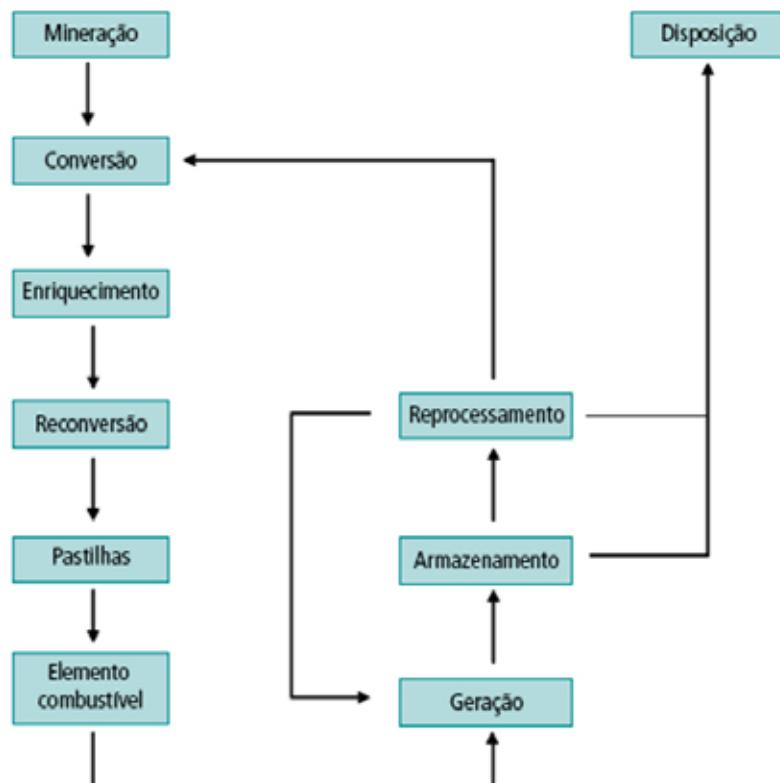
A tecnologia do reator nuclear determina o tipo de combustível a usar: numa reação em cadeia, dois elementos são fundamentais – o moderador, que regula a energia dos nêutrons liberados em cada fissão (com alta velocidade) para que a reação continue, e o refrigerante, que absorve o calor gerado e o transporta para fora do reator para a geração de vapor. Muitas vezes, essas duas funções são desempenhadas pelo mesmo material. A eficiência no desempenho destas funções determina o quanto de  $U_{235}$ , o isótopo fissionável, deve ter o combustível.

Do minério de urânio encontrado na natureza, 0,7 % é constituído do isótopo  $U_{235}$ , os restantes 99,3% são constituídos pelo isótopo mais pesado, U238. Para se usar água como moderador, deve-se aumentar a concentração de  $U_{235}$  (enriquecimento) para mais de 3% (entre 3 e 5%). Outra solução é usar outro moderador – D2O (água pesada, formada com o isótopo do hidrogênio, o deuterio, de peso molecular 2), hélio ou grafite e usar urânio não enriquecido.

A construção de artefatos nucleares necessita também (uma das alternativas) de urânio enriquecido a  $U_{235}$ , só que numa proporção bem maior – 90%. Assim sendo, o domínio da tecnologia de enriquecimento é visto como um importante passo para a fabricação da bomba, o que leva ao controle rigoroso de organismos internacionais desta tecnologia e de seu uso. Atualmente, apenas nove países possuem instalações comerciais em operação de enriquecimento de urânio: Rússia, França, Paquistão, EUA, Japão, China, Inglaterra, Alemanha e Holanda (INFICS – IAEA, 2006). O Brasil deverá integrar em breve este grupo, usando a melhor técnica – ultracentrifugação, desenvolvida internamente .

Nos últimos anos, houve uma mudança no mercado mundial de urânio, no sentido de sua globalização e maior controle das atividades (IAEA, 2005a). Países da Ásia e da antiga União Soviética hoje fazem parte do mercado mundial, tanto no uso de reatores como no fornecimento de combustível. Muitas plantas menores, com menor eficiência, foram fechadas, aumentando o rendimento global do setor.

**Esquema 3**  
**MACRO CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR**



Fonte: UIC, 2006.

Apenas seis organizações mundiais enriquecem comercialmente o urânio:

- China National Nuclear Corporation – CNNC, processo: centrifugação;
- Eurodif (Bélgica, França, Itália e Espanha), processo: difusão gasosa;
- Minatom (Rússia), processo: centrifugação;
- Japan Nuclear Fuel Limited – JNFL, processo: centrifugação;
- Urenco (Alemanha, Holanda e Inglaterra), processo: centrifugação; e
- USEC (EUA), processo: difusão gasosa.

## 7. COMPOSIÇÃO DA INDÚSTRIA MINERAL DE URÂNIO BRASILEIRA

A indústria mineral de urânio no Brasil está restrita aos órgãos federais por questões de segurança nacional. Desta forma, a INB responde pelo conjunto das atividades representativas do “ciclo do combustível nuclear” (exploração do urânio, desde a mineração e o beneficiamento primário, até a produção e montagem dos elementos combustíveis acionadores dos reatores de usinas nucleares).

## 8. COMÉRCIO EXTERIOR

Atualmente a produção brasileira de urânio é voltada para o atendimento da demanda interna. O excedente não é exportado, mas guardado para consumo próprio. O aumento de produção advindo da exploração da mina de Santa Quitéria/CE, em torno de 1000 toneladas deverá permitir que a pauta de exportação brasileira, a partir de 2013, inclua o urânio. Há que se respeitar, contudo, o fato de que existem limites legais, estratégicos e constitucionais para as exportações. Assim, para que a exportação seja possível, serão necessárias mudanças

na legislação brasileira, bem como aprovação da Agência Internacional de Energia Atômica. O Urânio é um insumo para a produção de energia nuclear e, por isso, comercializá-lo em estado bruto ou enriquecido traduz-se em uma perspectiva de bom negócio. Em 2007, a INB enviou à empresa CAMECO (no Canadá) 21 lotes de concentrado de urânio, onde é convertido em gás, o hexafluoreto de urânio (UF6), usado no processo de enriquecimento isotópico. Depois o material retorna ao Brasil, indo direto para a fábrica de enriquecimento em Resende/RJ.

A importação de urânio natural e seus compostos é controlada pela CNEN Comissão Nacional de Energia Nuclear. O Brasil importa urânio beneficiado somente para atender as usinas de Angra I e Angra II.

**Tabela 9**  
**COMÉRCIO EXTERIOR DO BRASIL DE URÂNIO E OUTROS MATERIAIS  
RADIOATIVOS – 2001-2007<sup>(1)</sup>**

Anos	Exportação		Importação	
	toneladas	US\$(1.000)	toneladas	US\$(1.000)
2001	24	91	48	19.837
2002	23	517	71	28.998
2003	31	183	40	16.392
2004	34	969	86	40.649
2005	333	967	65	39.847
2006	33	646	69	54.901
2007	95	242	38	34.834

Fonte: SECEX/MDIC

<sup>(1)</sup> Em metal contido (bens manufaturados)

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em um momento de crescimento econômico e consequentemente, de maior demanda crescente por energia, de escassez dos recursos energéticos e aumento de seus preços, assim como da crescente preocupação com o meio ambiente em função do aquecimento global, o minério de urânio ganha uma nova relevância no cenário mundial. As discussões acerca da necessidade de diversificação das matrizes energéticas mundiais trazem à tona uma alternativa possível: a energia nuclear. Contudo, o processo de enriquecimento de urânio como forma de geração de combustível nuclear pode dar origem também a armas nucleares. Além disso, existe a preocupação com o lixo atômico advindo daquele processo e suas consequências para o planeta e para as gerações futuras.

Neste contexto, o Brasil, detentor da sétima maior reserva de urânio do planeta possui um recurso que, além de econômico, é estratégico. Caso decida por aumentar a participação da energia nuclear em sua matriz energética, o Brasil não estará sujeito a flutuações do preço internacional do urânio, dado que possui o insumo necessário. Além disso, o mercado internacional poderá demandar o urânio excedente do Brasil, especialmente após o incremento de produção projetado pelas Indústrias Nucleares do Brasil.

O Brasil tem vantagens competitivas em relação à energia nuclear, que não podem ser desprezadas do ponto de vista estratégico: boas reservas do mineral, domínio da tecnologia de enriquecimento e experiência no setor. Para viabilização da geração nuclear com base nas reservas e produção brasileira do combustível, pode-se tomar como referência um gasto de cerca de 24 toneladas anuais de urânio enriquecido para cada 1.000 MW de potência instalada, quantidade essa correspondente a 191 toneladas por ano de óxido de urânio.

Alguns problemas críticos devem ser equacionados para um maior uso da energia nuclear: custo de geração alto (devido ao capital), comparado com outras alternativas disponíveis, e com alto investimento inicial; segurança, no sentido de maiores garantias para a

não ocorrência de acidentes catastróficos; e disposição do lixo atômico. As pesquisas atuais, como se verá adiante, principalmente com os reatores ditos de terceira e quarta gerações, apontam para a solução desses problemas.

Nos próximos anos, quatro questões devem direcionar o maior ou menor uso da energia nuclear (SIMBALISTA, 2006): de um lado, o preço do petróleo, que mantendo a tendência de alta viabiliza o maior aproveitamento de outras fontes primárias, e a maior aceitação do Tratado de Kioto (principalmente pelos EUA) e sua ampliação em bases mais severas, o que forçaria o uso de fontes não emissoras de gases de efeito estufa; e, de outro, dois fatos eventuais, cujas ocorrências trariam sérias reações a um maior uso da energia nuclear: um outro acidente nas proporções do de Chernobil ou um ataque terrorista a uma instalação nuclear.

Do ponto de vista interno a cada país, outras considerações merecem atenção (SIMBALISTA, 2006):

- a necessidade de segurança no suprimento energético com fontes que não dependam de outros países;
- a capacitação tecnológica (que requer um mínimo de 10 anos de preparação);
- a disponibilidade para o financiamento inicial (no Brasil, a área nuclear é prerrogativa exclusiva da União); e
- a sensibilidade da opinião pública quanto ao fator segurança e gerenciamento dos rejeitos.

A nucleoeletricidade e o aquecimento global são um assunto que fortalece a credibilidade da energia nuclear. É essencial o controle da emissão de gases como o CO<sub>2</sub>, (dióxido de carbono) que causam o efeito estufa e a elevação da temperatura terrestre, e, neste contexto, a energia nuclear

faz sua parte. Uma usina do porte de Angra II, evita a emissão de 5 a 10 milhões de toneladas de dióxido de carbono anuais. Com a entrada em operação de Angra III, a quantidade de emissões evitadas anualmente pelas usinas nucleares brasileiras ficará entre 14 a 24 milhões de toneladas de dióxido de carbono.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CNEN – COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR. Sítio contendo informações sobre a produção e uso de material nuclear. Disponível em: <http://www.cnen.gov.br>. Acesso em: dez. 2008.

COSTA, C. M. L. Acordo Nuclear Brasil – Alemanha. Disponível em: [http://www.cpdoc.fgv.br/nav\\_fatos\\_imagens/htm/fatos/AcordoNuclear.asp](http://www.cpdoc.fgv.br/nav_fatos_imagens/htm/fatos/AcordoNuclear.asp). Acesso em: dez. 2008.

ELETRONUCLEAR. Sítio contendo informações sobre a empresa e a produção e uso da energia nuclear no Brasil e no mundo. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br>. Acesso em: dez. 2008.

EIA/DOE. Energy Information Administration / U. S. Department of Energy. **International Energy Outlook**

**2005.** Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/index.html>. Acesso em: dez. 2008.

<http://www.epe.gov.br> EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional** : Ano base 2006 e 2007. Rio de Janeiro: EPE, 2008. Acesso em dez. 2008.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. Sítio contendo informações sobre a tecnologia nuclear e seu uso no mundo. Disponível em: <http://www.iaea.org/>. Acesso em: 15.mar.2006.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL S.A. **RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2008**: Ano Base 2008, **Brasil**.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL S.A. **RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2007**: Ano Base 2007, **Brasil**.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL S.A. **RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2006**: Ano Base 2006, **Brasil**.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL S.A. **RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2005**: Ano Base 2005, **Brasil**.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL S.A. **RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2004**: Ano Base 2004, **Brasil**.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL S.A. **A Produção de Combustível para Geração Nucleoelétrica no**

**Brasil.** Palestra em Power-Point. INB: 2007.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL S.A. Sítio contendo informações sobre o ciclo do combustível nuclear. Disponível em: <http://www.inb.gov.br/>. Acesso em: dez.2006.

IPEN – INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES. Sítio contendo informações sobre o uso da energia nuclear e outras. Disponível em: <http://www.ipen.br/>. Acesso em: dez.2006.

MIT – MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **The Future of Nuclear Power: An Interdisciplinary Mit Study.** 180 p. ISBN 0-615-12420-8. 2003.

NEA/OECD – NUCLEAR ENERGY AGENCY e IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Uranium 2003: Resources, Production and Demand ("Red Book")**. OECD, 2004.

NEA/OECD – NUCLEAR ENERGY AGENCY. **Projected Costs of Generating Electricity**. 2005 Update. OECD, 2005.

NEI – NUCLEAR ENERGY INSTITUTE. Sítio contendo informações sobre energia nuclear. Disponível em: <http://www.nei.org>. Acesso em: dez.2008.

NUCLEP. Sítio contendo informações sobre a fabricação de equipamentos e componentes para o ciclo eletronuclear no Brasil. Disponível em: <http://www.nuclep.gov.br>. Acesso em: dez.2008.

OLIVEIRA, E. C. **Programa Brasileiro de Geração Nuclear**. Slides em PowerPoint. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br>. Acesso em: dez.2008.

ONS – OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA. Sítio contendo informações sobre características e desempenho do sistema elétrico brasileiro. Disponível em: <http://www.ons.org.br>. Acesso em: dez.2008.

TOLMASQUIM, M. T. (coordenador). **Geração de Energia Elétrica no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2005.

UNIVERSITY OF CHICAGO. **The Economic Future of Nuclear Power**. August.2004. Disponível em: <http://nuclear.gov/reports>. Acesso em: 16.mar.2006.

YAMAMOTO, J. K. e ROCHA, M. M. Revisão e Recomendações para o Cálculo e Classificação de Reservas Minerais. In **Revista Brasileira de Geociências**, vol. 26, no 4, p. 243-254, dez.1996.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Inventário dos Recursos e Reservas de Urânio**. Rio de Janeiro: EPE,abr.2006.

IAEA – INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. **Country Nuclear Fuel Cycle Profiles**. 2ª edição. IAEA: VienaÁustria,2005a.

NFCIS – Nuclear Fuel Cycle Information System. Sítio contendo informações sobre o ciclo de combustível nuclear no mundo. Disponível em <<http://www-nfcis.iaea.org>>. Acesso em dez de 2008.

IAEA e EIA/DOE. Consultancy Group on Nuclear Capacity Projections up to 2030. **Nuclear Forecasts**. May, 2006.

INB – INDÚSTRIAS NUCLEARES DO BRASIL. Palestra apresentada na EPE. Arquivo em PowerPoint. Rio de Janeiro:fev.2006.

MATTOS, J. R. L. et alii. **Perspectivas Econômicas e Estratégias do Combustível Nuclear**. In X Congresso Brasileiro de Energia. Anais. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2004.

TRADE TECH, LLC. Sítio contendo informações sobre os mercados de urânio. Disponível em <<http://www.uranium.info/index.html>>. Acesso em dez. de 2008.

UIC – URANIUM INFORMATION CENTRE. Sítio contendo informações sobre o uso do urânio, em especial na Austrália. Disponível em <<http://www.uic.com.au>>. Acesso em dezembro de 2006.

WNA – WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. Site contendo dados sobre o uso da energia nuclear, inclusive do mercado de urânio. Disponível em <<http://www.world-nuclear.org>>. Acesso em dezembro de 2006.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ª edição. Documento em Adobe PDF. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>. Acesso em: dezembro de 2008

COSTA, C. M. L. Acordo Nuclear Brasil – Alemanha. Disponível em: [http://www.cpdoc.fgv.br/nav\\_fatos\\_imagens/htm/fatos/AcordoNuclear.asp](http://www.cpdoc.fgv.br/nav_fatos_imagens/htm/fatos/AcordoNuclear.asp). Acesso em: dez.2008.

ELETROBRÁS. **Plano Nacional de Energia Elétrica 1993 – 2015.** Abril.1994.

OLIVEIRA, E. C. **Programa Brasileiro de Geração Nuclear.** Slides em PowerPoint. Disponível em: <http://www.eletronuclear.gov.br>. Acesso em: dez.2008.

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica  
[www.iaea.org](http://www.iaea.org)

ABACC – Agência Brasileiro-Argentina de Contabilidade e Controle de Materiais Nucleares  
[www.abacc.org](http://www.abacc.org)

DOE – Departamento de Energia/EUA  
[www.doe.gov](http://www.doe.gov)

URENCO  
[www.urenco.com](http://www.urenco.com)

### **Instituições e organizações internacionais**

Ministério da Ciência e Tecnologia  
[www.mct.gov.br](http://www.mct.gov.br)

Ministério das Minas e Energia  
[www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)

Canal Energia  
[www.canalenergia.com.br](http://www.canalenergia.com.br)

SIEMENS  
[www.siemens.com.br](http://www.siemens.com.br)

ABEN – Associação Brasileira de Energia Nuclear  
[www.aben.com.br](http://www.aben.com.br)

CDTN – Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear  
[www.urano.cdtn.br](http://www.urano.cdtn.br)

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear  
[www.cnen.gov.br](http://www.cnen.gov.br)

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S. A.  
[www.eletrobras.gov.br](http://www.eletrobras.gov.br)

ELETRONUCLEAR – Eletrobrás Termonuclear  
[www.eletronuclear.gov.br](http://www.eletronuclear.gov.br)

## **SÍTIOS CONSULTADOS**

### **Empresas, Instituições e organizações internacionais**

WORLD NUCLEAR ASSOCIATION  
[www.world-nuclear.org](http://www.world-nuclear.org)

URENCO  
[www.urenco.com](http://www.urenco.com)

NUCLEAR ENERGY INSTITUTE  
[www.nei.org](http://www.nei.org)

EIA – Energy Information Administration / EUA  
[www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov)

COGEMA  
[www.cogema.fr](http://www.cogema.fr)

CNEA – Comision Nacional de Energia Atômica  
[www.cnea.edu.ar](http://www.cnea.edu.ar)

BNFL – British Nuclear Fuel Ltd.  
[www.bnfl.com](http://www.bnfl.com)

ANS – AMERICAN NUCLEAR SOCIETY  
[www.ans.org](http://www.ans.org)

FURNAS Centrais Elétricas  
[www.furnas.gov.br](http://www.furnas.gov.br)

Governo Federal – Presidência da República  
[www.brasil.gov.br](http://www.brasil.gov.br)

IPEN – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares  
[www.ipen.br](http://www.ipen.br)

IRD – Instituto de Radioproteção e Dosimetria  
[www.ird.gov.br](http://www.ird.gov.br)

<http://www.cprm.gov.br/>  
<http://www.cvm.gov.br/>  
<http://www.desenvolvimento.gov.br/>  
<http://www.dnpm.gov.br/>  
<http://www.ibge.gov.br/>  
<http://www.ibgm.com.br/>  
<http://www.ibram.org.br/>  
<http://www.ipeadata.gov.br/>  
<http://www.mme.gov.br/>  
<http://www.sbgeo.org.br/>  
<http://www.stn.fazenda.gov.br/>

## **Diversos**

<http://pt.wikipedia.org/>  
<http://www.historianet.com.br/>

