

**CNEN - Comissão Nacional de Energia Nuclear**  
**CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

**PUBLICAÇÃO CDTN-960/2007**

**BRASIL NUCLEAR:  
DA ESTAGNAÇÃO AO CRESCIMENTO**  
**João Roberto Loureiro de Mattos/EC3/CDTN**  
**Marcio Soares Dias/EC3/CDTN**



Vista do sítio de Angra I e II (Fonte: [www.eletronuclear.gov.br](http://www.eletronuclear.gov.br))

**Março de 2007**

**BRASIL NUCLEAR:  
DA ESTAGNAÇÃO AO CRESCIMENTO**

**João Roberto Loureiro de Mattos/EC3/CDTN  
Marcio Soares Dias/EC3/CDTN**

Belo Horizonte  
Março de 2007

## **RESUMO**

**Cenário Internacional:** O renascimento da opção nuclear, para a geração de energia elétrica é impulsionado pela sua competitividade econômica e pelos seus benefícios socio-ambientais. A retomada nuclear já produz efeitos no mercado internacional de urânio com volumes recordes negociados e com uma elevação de preço por um fator de 6. O Brasil, como detentor de uma das maiores reservas de urânio do mundo, tem muito a se beneficiar com esta retomada, conforme demonstrado neste trabalho.

**Cenário de Desenvolvimento:** Nas projeções da EIA/DOE e EPE/MME, o Brasil deverá chegar em 2030 com um desenvolvimento econômico abaixo da média mundial e de outros países emergentes, tais como México, Coréia do Sul e China. O Brasil está com capacidade de investimento limitada o que restringe a expansão da matriz de geração de energia elétrica. Com base na evolução histórica da elasticidade-renda do consumo de eletricidade, o crescimento limitado da geração de energia elétrica não permitirá sustentar ou alavancar um maior desenvolvimento econômico.

**Contribuição e Sustentabilidade Nuclear:** O cenário apresentado neste documento discute aspectos de como o setor nuclear pode contribuir para a expansão da matriz elétrica brasileira, por meio de autofinanciamento e sem ônus adicional para o Tesouro Nacional. Esta contribuição é fundamental para sustentar ou alavancar o desenvolvimento econômico do País.

## **Summary**

**International scenario:** The renaissance of the nuclear option for generating electric energy is stimulated by its economic competitiveness and its socio-ambient benefits. The nuclear retaken already affects the international Uranium market with records of negotiated volumes and a rise of price by a factor of 6. Brazil as detainer of one of the biggest reserves of Uranium in the world has much to profit with this retaken, as demonstrated in this work.

**Development scenario:** In the projections of EIA/DOE and EPE/MME Brazil will arrive in 2030 with an economic development below of the world-wide average and below of other emergent countries, such as Mexico, South Korea and China. Brazil has a limited capacity of investment that restricts the expansion of the electric energy generation matrix. On the basis of the historical evolution of the energy-income elasticity (electricity consumption) the limited growth of the electric generation matrix will not allow to support or to improve the economic development.

**Nuclear Contribution and Sustainability:** this paper analyzes aspects of how the nuclear sector can contribute for the expansion of the Brazilian electric generation matrix, by means of self-financing and without additional investment from the National Treasure. This contribution can be crucial to support or to improve the Brazilian economic development.

## **Autores**

**João Roberto Loureiro de Mattos.** Doutor em Engenharia Química pela UNICAMP. É Chefe do Serviço de Engenharia Nuclear e Sistemas do CDTN/CNEN. Tel (31)3499-3206, E-mail: jrmattos@cdtn.br.

**Marcio Soares Dias.** Doutor em Engenharia Química pela UNICAMP. Tecnologista Sênior do Serviço de Engenharia Nuclear e Sistemas do CDTN/CNEN. Tel (31)3499-3217, E-mail: marciod@cdtn.br.

## **BRASIL NUCLEAR: DA ESTAGNAÇÃO AO CRESCIMENTO**

### **INTRODUÇÃO**

A partir de 2004, publicações especializadas na área de energia, notadamente as edições anuais do “International Energy Outlook” (IEO), consolidam a retomada da opção nuclear no quadro energético mundial. Esta retomada era tida como improvável até o ano de 2000. Num primeiro momento esta retomada foi atribuída a fatores predominantemente estratégicos, traduzidos na busca de vários países em reduzir a dependência externa e a vulnerabilidade relacionada com os combustíveis fósseis, que pudessem ser provocadas por crises políticas/econômicas. Entretanto, revisões das projeções para a demanda de energia elétrica indicam que a capacidade de geração instalada ao longo do século XX deve ser duplicada nos primeiros 25 anos do século XXI, o que somado ao agravamento das variações climáticas exige a consideração da componente de sustentabilidade na escolha das opções energéticas (EIA/DOE 2006a, DIAS, M.S.; MATTOS, J.R.L.; JORDÃO, E.; VASCONCELOS V., 2006a e 2006b).

## **1. CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA E RENASCIMENTO NUCLEAR**

### **1.1 Componente Ambiental**

As projeções do International Energy Outlook 2006 (EIA/DOE 2006a), resumidas na Tabela 1, indicam que o consumo mundial de energia cresce de 71,4% entre 2003 e 2030. Os consumos dos combustíveis fósseis, com crescimentos superiores a 90%, constituem os suportes deste consumo de energia nos setores de transporte, indústria, comércio e residencial.

**Tabela 1: Projeções de 2003 a 2030 da EIA/DOE**

| <b>Combustíveis</b>        | <b>Unidades</b>            | <b>2003</b> | <b>2010</b> | <b>2020</b> | <b>2030</b> | <b>Taxas 2003-2030(%)</b> |              |
|----------------------------|----------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|--------------|
|                            |                            |             |             |             |             | <b>anual</b>              | <b>total</b> |
| Petróleo                   | milhões de barris/dia      | 80,1        | 91,6        | 104,1       | 118         | 1,4                       | 47,3         |
| Gás Natural                | trilhões de m <sup>3</sup> | 2,70        | 3,30        | 4,24        | 5,15        | 2,4                       | 90,6         |
| Carvão                     | bilhões de toneladas       | 4,94        | 6,31        | 7,84        | 9,58        | 2,5                       | 94,1         |
| Nuclear                    | trilhões de kWh            | 2,52        | 2,74        | 3,12        | 3,30        | 1,0                       | 30,8         |
| Renováveis                 | 10 <sup>18</sup> J         | 34,5        | 47,7        | 56,0        | 65,8        | 2,4                       | 90,8         |
| <b>Total</b>               | 10 <sup>18</sup> J         | <b>444</b>  | <b>538</b>  | <b>647</b>  | <b>761</b>  | <b>2,0</b>                | <b>71,4</b>  |
| Eletricidade               | bilhões de kWh             | 14781       | 19045       | 24371       | 30116       | <b>2,7</b>                | <b>103,7</b> |
| Emissão de CO <sub>2</sub> | bilhões de toneladas       | 25,03       | 30,35       | 36,73       | 43,66       | <b>2,1</b>                | <b>74,5</b>  |
| Óleo                       | (%)                        | 42,0        | 39,6        | 37,2        | 35,6        |                           |              |
| Gás Natural                | (%)                        | 20,8        | 21,0        | 22,4        | 22,9        |                           |              |
| Carvão                     | (%)                        | 37,2        | 39,3        | 40,4        | 41,5        |                           |              |

A geração de energia elétrica demanda cerca de 41% do consumo mundial de energia e, em 2003, teve como fontes primárias 66% de combustíveis fósseis, 16% de fonte nuclear e 18% de fontes renováveis (hidrelétricas e outras). A emissão de CO<sub>2</sub>, com crescimento de 74,5% no período 2003 a 2030, acompanha o crescimento do consumo mundial de energia e constitui uma das grandes preocupações mundiais em virtude das alterações climáticas. Os efeitos destas alterações não têm fronteiras e provocam danos de forma globalizada. Sendo isenta de emissões de gases de efeito estufa, a energia nuclear retornou a agenda da matriz energética de diversos países. Não somente pelo aspecto ambiental, mas também por aspectos econômicos e estratégicos, o

## **Comissão Nacional de Energia Nuclear Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

renascimento nuclear contém ainda (a) o crescimento da aceitação pública, em face da demonstração histórica de segurança, (b) a competitividade econômica nos custos de geração, (c) a incorporação de inovações e desenvolvimentos tecnológicos com impactos na redução das principais barreiras como custos dos investimentos de capital e destinação dos rejeitos radioativos. A face mais visível do renascimento é demonstrada pelo aquecimento no mercado internacional de urânio com os aumentos do preço e do volume negociado.

Na Tabela 1, o consumo de petróleo de 2003 corresponde à quantidade que fluiria em um tubo de 2 metros de diâmetro, a velocidade de 169 km/h, 24 horas e 365 dias do ano. Nesta escala, o consumo de 2030 corresponderá à velocidade de 249 km/h. Considerando a massa específica de  $0,68 \text{ kg/m}^3$  a  $16^\circ\text{C}$ , a taxa de consumo de gás corresponde 58 t/s (toneladas por segundo) em 2003 e 111 t/s em 2030. O volume de carvão consumido equivale à taxa de 157 t/s em 2003 e 304 t/s em 2030. O carvão cresce fortemente como fonte primária de energia.

O crescimento de 38 milhões de barris/dia no petróleo equivale a 2 Golfos Pérsicos com a média de produção de 2003 (EIA/DOE, 2006b). Ainda existe a expectativa de que a produção mundial de petróleo cresça até 2040, com a viabilização tecnológica e econômica na exploração das reservas existentes. No entanto, na avaliação/2006 da EIA/DOE (EIA/DOE, 2006c), os preços do petróleo e, por conseguinte, do gás natural não recuam mais. Este fato está produzindo a revisão da inserção do gás natural em matrizes energéticas de diversos países. Já o crescimento do consumo mundial de eletricidade significa que igual capacidade de geração, desenvolvida e mantida ao longo do século XX, deverá ser instalada nos primeiros 25 anos do século XXI.

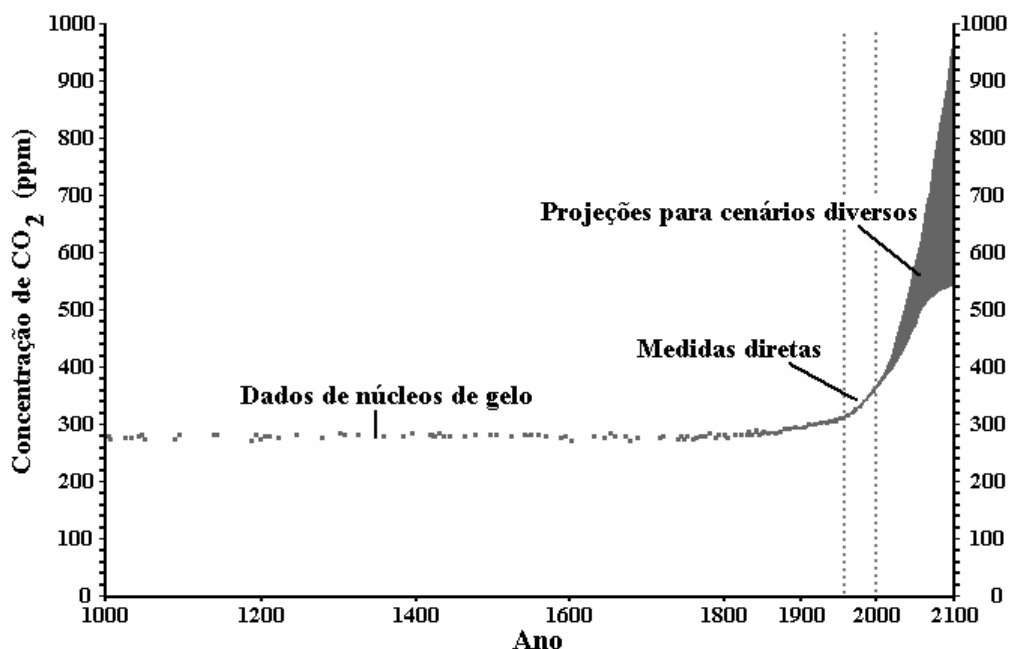
Em termos ambientais é preocupante o crescimento projetado para a emissão de  $\text{CO}_2$  da Tabela 1. Na avaliação do IEO 2006 da EIA/DOE, China e EUA foram responsáveis por 37,3% das emissões de  $\text{CO}_2$  em 2003 e responderão por 43,1% das emissões em 2030. Em função das projeções de custos do petróleo e gás natural, os crescimentos das matrizes energéticas de ambos os países têm forte componente baseada no carvão. Nos EUA, o uso menor do gás natural na geração de eletricidade será compensado, em grande parte, com o aumento da contribuição do carvão. Em termos do consumo de carvão, China, EUA e Índia responderão, respectivamente por 60,8%, 13,5% e 8,9%, ou seja, um total de 83,2%, do aumento no consumo mundial de carvão até 2030. Evidentemente, China e EUA não devem ratificar o protocolo de Quioto.

Conforme John Ritch (RITCH, 2004), apesar de muita retórica e diplomacia, a taxa global de emissões de  $\text{CO}_2$  continua a aumentar e alcançou, em 2003, 25 bilhões de toneladas/ano (t/a) ou 793 toneladas/segundo (t/s). Em 2030, alcançará 43,7 bilhões de toneladas métricas ou 1386 t/s. Ao longo de 400.000 anos de história da Terra os níveis de  $\text{CO}_2$  na atmosfera flutuaram entre 200 e 300 partes por milhão (ppm), mantendo uma correlação praticamente perfeita com a variação no entorno de  $15^\circ\text{C}$  da temperatura. Conforme medidas a partir de bolhas de ar aprisionadas em glaciais, a Figura 1 mostra que a concentração de  $\text{CO}_2$  na atmosfera permaneceu inalterada desde o início do século XI até o final do século XIX. Esta concentração aumenta a partir da industrialização no final do século XIX e as projeções de emissões apontam para valores entre 540 e 960 ppm de  $\text{CO}_2$  ao final do século XXI.

Conforme James Lovelock (LOVELOCK, 2004), criador da Teoria de Gaia, o aquecimento global torna-se irreversível para um limite de concentração entre 450 a 550 ppm de  $\text{CO}_2$ . Em 2006 esta concentração alcança aproximadamente de 380 ppm de  $\text{CO}_2$  (IAEA 2006a).

Desde o final do século XX e no início do século XXI, o mundo tem assistido aos efeitos das variações climáticas com resultados inéditos em termos de temperaturas, secas e inundações, número e força de tornados e outros elementos meteorológicos. Repetindo anos anteriores, foram alcançados recordes de temperaturas e inundações no verão de 2006 do hemisfério norte, com resultados de danos materiais e perdas de vidas. O impacto dos danos produzidos já caminha no

sentido de reduzir o desenvolvimento econômico mundial, uma vez que parte da riqueza produzida é consumida na recuperação dos danos advindos das alterações climáticas. Estes danos são fatos que, com conseqüências socioeconômicos e políticas, já reorientam os planejamentos energéticos de vários governos. Em seu caráter estratégico, esta reorientação objetiva reduzir a vulnerabilidade da matriz energética, associada com conjunturas políticas e econômicas externas, e em seu caráter sociopolítico, visa acompanhar os comprometimentos com o Protocolo de Quioto e a incipiente manifestação da opinião pública. O Protocolo de Quioto, que estabelece limites para a redução da emissão de carbono de diversos países no período 2008-2012, tornou-se um tratado legal em 16 de fevereiro de 2005. Este Protocolo constitui uma tentativa para estabilizar a evolução de CO<sub>2</sub> na atmosfera, mostrada na Figura 1, e mitigar os possíveis efeitos do aquecimento global.

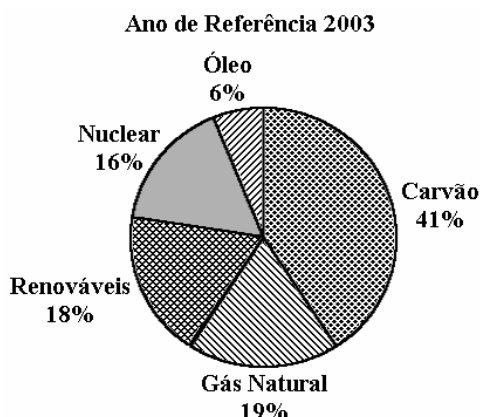


Fonte: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC 2001), conforme IAEA 2006a

**Figura 1: Evolução medida da concentração atmosférica de CO<sub>2</sub>**

A distribuição de fontes primárias na geração de energia elétrica mundial, apresentada no gráfico da Figura 2, mostra que 66% da eletricidade produzida em 2003 teve os combustíveis fósseis como fonte primária de energia, enquanto, a energia nuclear contribuiu com 16% da geração total. O impacto desta distribuição na emissão de gases de efeito estufa, responsáveis pelas alterações climáticas, pode ser avaliado nos consumos e emissões de uma usina de 1 MWe que opere ao longo de um ano, conforme resumo da Tabela 2.

As fontes térmicas convencionais de energia lançam, para a atmosfera, toneladas de poluentes. Neste contexto, a energia nuclear, que não tem emissões atmosféricas, é considerada uma energia limpa. Como resultado da decomposição de matéria orgânica nos reservatórios, a própria geração hidrelétrica contribui com a emissão de metano, um potente gás de efeito estufa. Os resíduos da indústria nucleoeletrica são completamente confinados e selados, sendo, em termos de volume, extraordinariamente mais reduzidos que os resíduos dos combustíveis fósseis. As 443 centrais nucleares em operação no mundo podem gerar 370.000 MWe (IAEA, 2006b) e os 2523 bilhões de kWh, gerados em 2003, representam um alívio significativo da carga de gases de efeito estufa que seria lançada por igual geração de outras fontes térmicas. A maior vantagem da energia nuclear reside na densidade de energia, desde que a combustão de 1 kg de carvão ou óleo resulta em 3-4 kWh de eletricidade e 1 kg de urânio pode gerar 50.000 kWh e, com reprocessamento, 3.500.000 kWh (IAEA 1997).



*Todas as fontes apresentam vantagens e desvantagens ambientais específicas. Aspectos socio-econômicos, estratégicos e políticos são itens adicionais a serem analisados*

Fonte: IEO-2006

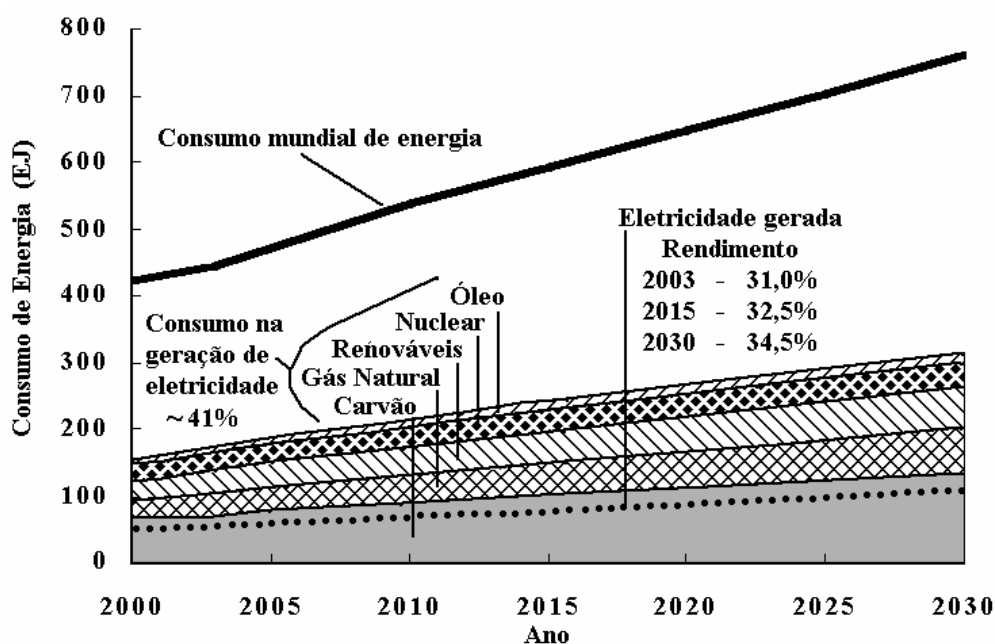
Figura 2: Distribuição de fontes primárias na geração de energia elétrica mundial

Tabela 2: Consumo e emissões na geração de 1 MWe ao longo de um ano

| Combustível                 | Resíduos Produzidos                                                                               |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2.500 t de carvão           | 5000 t de CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , cinzas e metais pesados libertados para a atmosfera |
| 1.500 t de óleo combustível | 4800 t de CO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> e outros                                              |
| 700 t de gás natural        | 2400 t de CO <sub>2</sub>                                                                         |
| 25 kg de urânio enriquecido | 23 kg de resíduos (apenas 1 kg de resíduos de alta atividade)                                     |

Fonte: (BARROS, 2006)

A Figura 3 mostra a evolução do consumo mundial de energia expressa em 10<sup>18</sup> Joules (EJ). Deste total, 41% é destinado à geração de energia elétrica conforme as distribuições, por combustível, indicadas na Figura. A energia elétrica gerada, indicada pela linha pontilhada, representa cerca de 31% da energia consumida na geração. Na avaliação IEO 2006, o rendimento da geração de eletricidade (relação energia elétrica útil/energia primária consumida) cresce de 31% para 34,5% entre 2003 e 2030. Conforme consumo de 2030 da Tabela 1, o 3,5% de ganho no rendimento representa 1054 bilhões de kWh de energia útil, cerca de 2,8 vezes o consumo do Brasil em 2003.



Fonte: IEO-2006

Figura 3: Evolução do consumo mundial de energia na geração de energia elétrica

## Comissão Nacional de Energia Nuclear Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

O consumo mundial de energia elétrica de fonte nuclear aumenta de 2523 bilhões de kWh em 2003 para 3299 bilhões de kWh em 2030 (+30,8%). A capacidade nuclear instalada, para sustentar este consumo, cresce de 362 GW em 2003 para 437 GW em 2025 (+20,7%). De acordo com o EIA/DOE, os altos preços dos combustíveis fósseis e as preocupações, quanto à garantia no suprimento de energia, são fatores que contribuem para o crescimento das perspectivas para a energia nuclear (EIA/DOE, 2006a).

### 1.2 Componente de Confiabilidade e Segurança

Em 2006, a energia nuclear alcançou 12.000 reatores-ano de operação com dois acidentes nucleares graves ao longo de sua história: Three Mile Island e Chernobyl. O 1º acidente em 1979 resultou no derretimento de um núcleo do reator na usina de Three Mile Island, na Pensilvânia. De acordo com Patrick Moore (MOORE, 2006), um dos fundadores do Greenpeace, “o que ninguém percebeu, na época, foi que Three Mile Island se converteu numa história de sucesso: a estrutura de contenção de concreto fez exatamente o que fora projetada para fazer – impedir que a radiação escapasse para o ambiente. Embora o reator ficasse avariado, não houve mortos nem feridos entre os trabalhadores do local e moradores da vizinhança”. O reator soviético de Chernobyl, envolvido no 2º acidente em 1986, não tinha vaso de contenção, era um projeto de 2ª geração e seus operadores literalmente o explodiram. Diferentemente do reator de Chernobyl, os reatores ocidentais são de 3ª geração e têm na contenção as 5ª e 6ª barreiras físicas para evitar o escape de radioatividade para o exterior.

A evolução da segurança operacional das centrais nucleares é destacada na Figura 4 que mostra o número de acidentes industriais (não-nucleares) em cada 1 milhão de homens-hora trabalhadas. É ainda enfatizado que neste período o fator de disponibilidade da geração nuclear mundial evoluiu de 73% em 1990 para 83% em 2004.

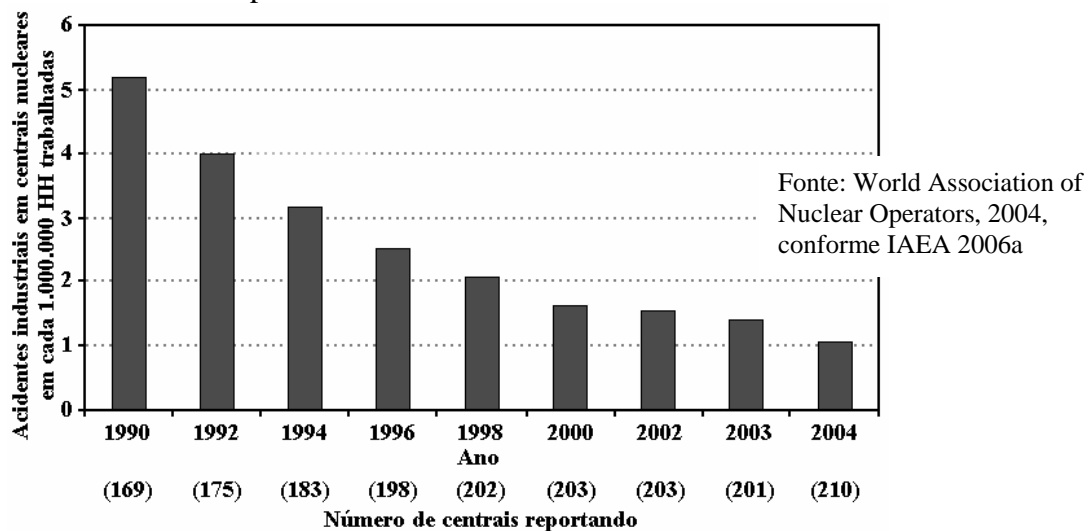


Figura 4: Evolução da confiança e segurança

### 1.3 Componente de Competitividade e Custos da Geração Nuclear

Nos EUA e em termos de valores nominais, o preço de varejo da eletricidade evoluiu de forma crescente desde 1970 e, conforme Figura 5, crescerá continuamente até 2030. O combustível nuclear e o carvão continuam a ser os mais baratos para as geradoras de eletricidade dos EUA (EIA/DOE 2006c), conforme mostra a Figura 6. De acordo com o “Annual Energy Outlook – 2006” (AEO) (EIA/DOE 2006c), as 104 centrais nucleares americanas passarão pelo processo de renovações das licenças por mais 20 anos. O investimento de capital já foi pago e os custos da geração são altamente competitivos. O fator de capacidade do parque nuclear, que era de 56% em 1980, deve alcançar o patamar de 91% até 2010. A capacidade de geração americana é de 99,6 GW e cada ponto percentual no fator de capacidade, entre 1980 e 2010, representa o ganho de 1 GW ou



35 GW no período. A capacidade de geração americana deve crescer dos atuais 99,6 GW para 108,8 GW a partir do aumento na potência de 3,2 GW de centrais já existentes e do programa de incentivo para a instalação, até 2018, de 6 GWe nucleares novos.

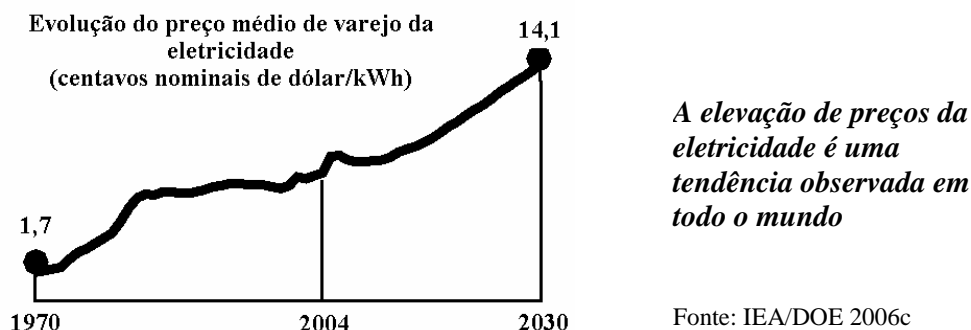


Figura 5: Evolução do preço médio de varejo da eletricidade nos EUA

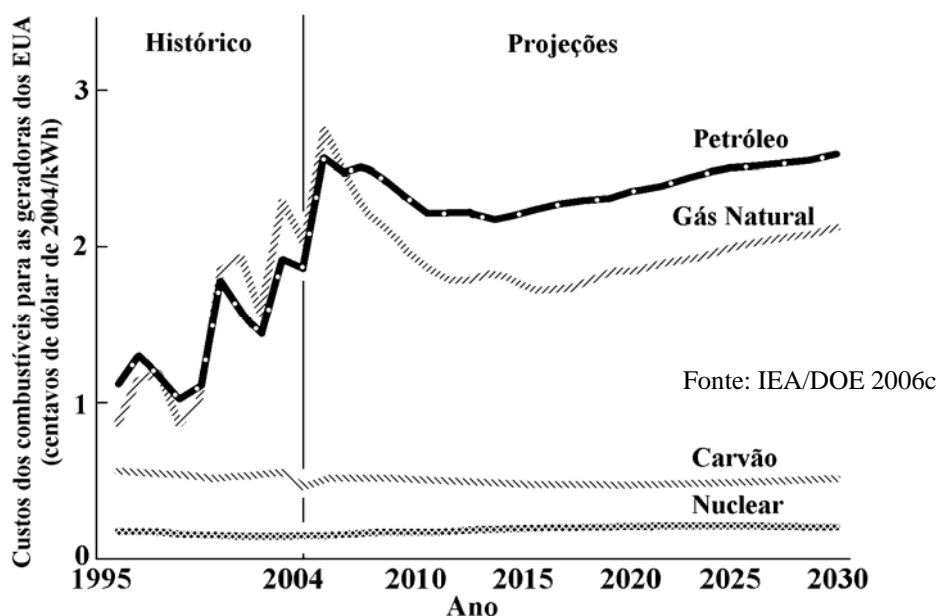
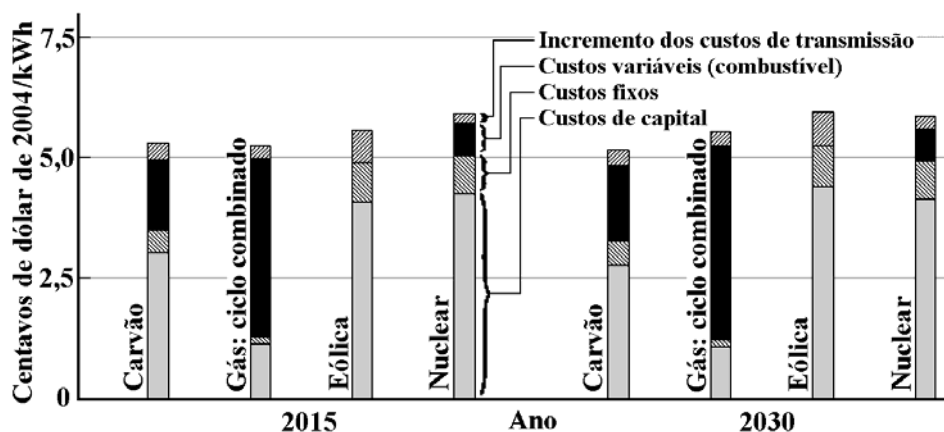


Figura 6: Custos dos combustíveis para as geradoras dos EUA

Com base nas tecnologias existentes, nas projeções de custos de capital e de combustíveis, a Figura 7 mostra os custos da geração de novas instalações americanas, considerando o retorno do investimento de capital em 20 anos e os custos de capital baseado em taxas competitivas de mercado (EIA/DOE 2006c).

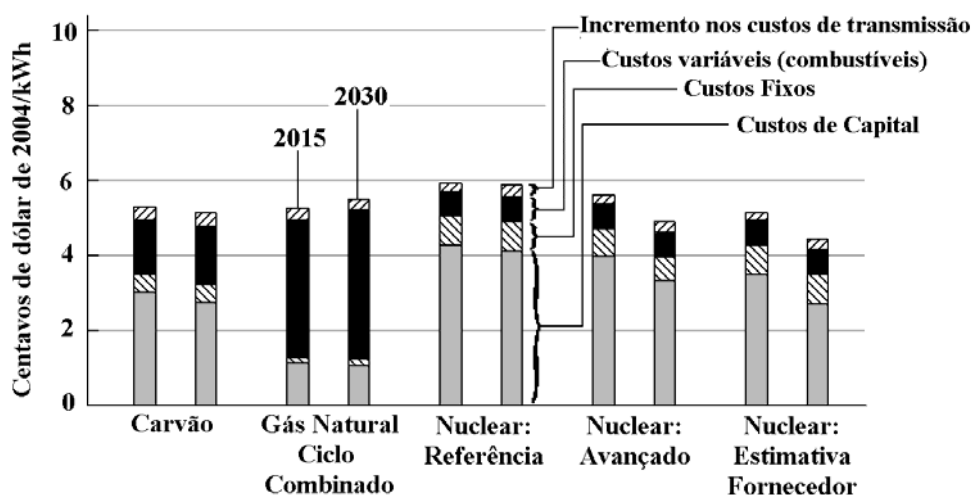
A incorporação de avanços tecnológicos no projeto e construção já permite avaliar a redução dos custos de capital no setor nuclear e, para diversos países, uma nova central nuclear já é competitiva em relação às demais fontes térmicas. Desde 1977 não é construída uma nova central nos EUA; entretanto, a Figura 8 mostra a evolução projetada dos custos de geração para novas centrais americanas, considerando os custos alcançados por centrais nucleares recentemente construídas em outros países e a incorporação dos avanços tecnológicos. A projeção mostra que, nos EUA, a geração elétrica de fonte nuclear tem possibilidades de tornar-se mais barata que as demais térmicas já em 2015.

Este fato já é uma realidade para a Finlândia. A Figura 9 mostra a evolução crescente dos custos de geração da eletricidade na Finlândia e as opções energéticas considerando os custos de capital, operação e manutenção, combustíveis e as taxas relativas à emissão de CO<sub>2</sub>. A alternativa nuclear constitui a opção para conter a elevação dos custos da energia elétrica (TARJANNE, 2005). A construção de nova central nuclear foi a decisão do governo finlandês (IAEA, 2006b).



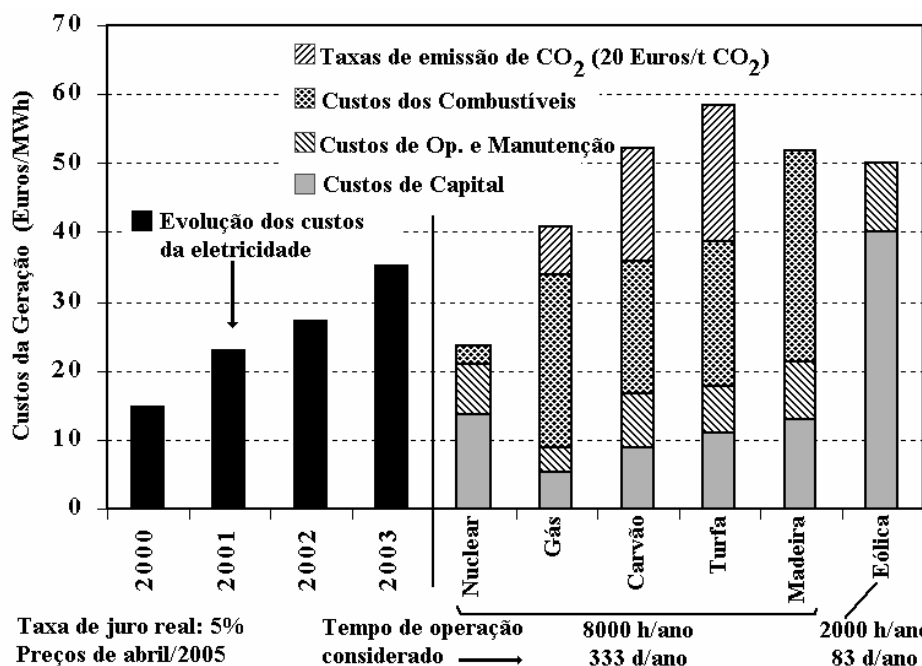
Fonte: IEA/DOE 2006c

Figura 7: Custos da geração de eletricidade de novas instalações americanas



Fonte: IEA/DOE 2006c

Figura 8: Projeção de custos nos EUA com a incorporação de avanços tecnológicos



Fonte: TARJANNE 2006

Figura 9: Evolução e partição dos custos da energia elétrica na Finlândia

#### 1.4 Componente dos Rejeitos Radioativos e Não-proliferação

Uma contribuição importante, para a retomada da energia nuclear, está associada com o reprocessamento do combustível queimado de centrais nucleares, de modo a alcançar os objetivos de (a) redução da quantidade e radiotoxicidade dos rejeitos nucleares destinados à reposição geológica, (b) ampliação do uso efetivo e redução dos custos da reposição geológica, (c) redução dos inventários de plutônio e, finalmente, (d) recuperação de energia ainda presente no combustível nuclear queimado de usinas comerciais (STILLMAN 2005, MEYER 2004). Basicamente, estes objetivos são alcançados com a reciclagem dos elementos do grupo de actinídeos (plutônio, amerício, cúrio) presentes no combustível queimado de centrais comerciais. A Figura 10 mostra que, com a remoção dos actinídeos do combustível queimado, a redução da radiotoxicidade do rejeito do reator nuclear alcança valores naturais da mineração do urânio em cerca de 300 anos. De forma similar é reduzida também a carga térmica proveniente, principalmente, do decaimento radioativo de meia-vida longa dos actinídeos. Em repositórios geológicos, o plutônio e outros actinídeos são os responsáveis maiores pelos riscos radiológicos e carga térmica para além de 600 anos (MEYER 2004). A queima do plutônio já é uma realidade em diversos países com a utilização do combustível MOX. A queima dos demais actinídeos faz parte de pesquisas avançadas envolvendo o conceito do combustível IMF (inert matrix fuel) e dos sistemas ADS (advanced driven system).

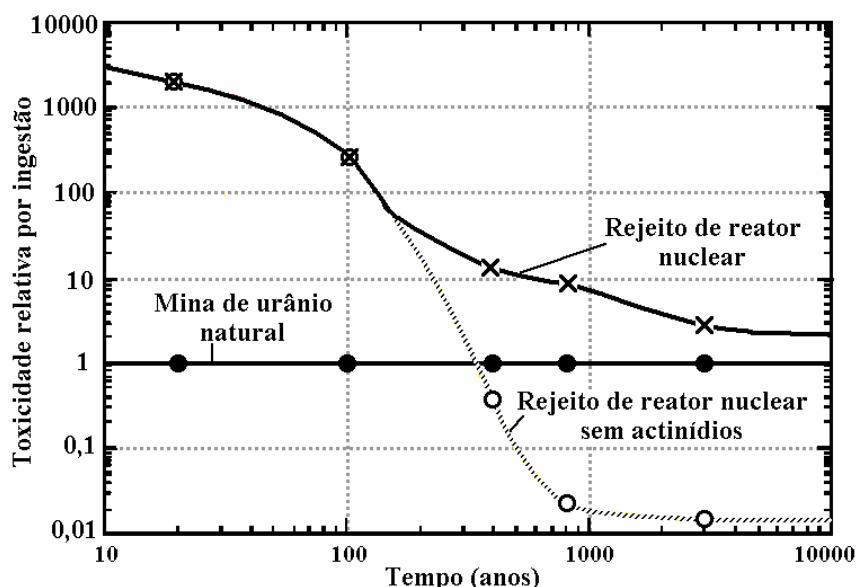


Figura 10: Evolução da radiotoxicidade do rejeito nuclear com e sem actinídeos

As ações americanas no cenário internacional são orientadas por aspectos de não-proliferação e envolvem a revisão de conceitos para o “*Nuclear Suppliers Group*” (NSG) e o *Comitê Zangger*. Estas ações visam a reforçar as barreiras tecnológicas para o desenvolvimento autônomo da tecnologia nuclear. Basicamente, a tecnologia nuclear disponível no âmbito do NSG será cedida a outros países membros, para fins de geração de eletricidade, desde que o país comprador abdique do desenvolvimento desta tecnologia.

#### 1.5 Conseqüências no Mercado de Urânio

Considerando o crescimento projetado para a energia nuclear, as necessidades de urânio são analisadas, pela IAEA e NEA(OECD), na nova edição do Livro Vermelho “*Uranium 2005: Resources, Production and Demand*” (IAEA/NEA 2006).

Conforme o Livro Vermelho, os recursos de urânio podem ser colocados em 3 categorias. A primeira categoria define os recursos uraníferos como convencionais, onde o urânio é extraído

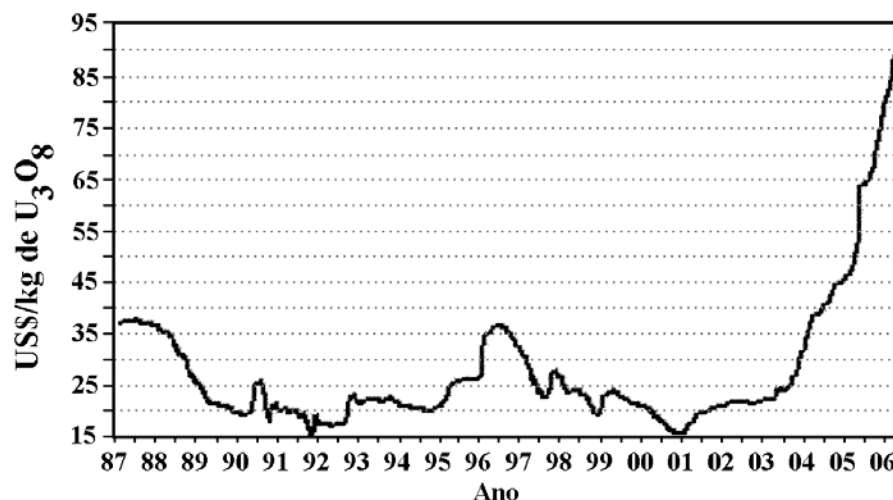
**Comissão Nacional de Energia Nuclear**  
**Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

como principal produto, e recursos não convencionais, onde o urânio constitui um subproduto. A segunda categoria tem por base no nível de conhecimento ou confiança na quantificação do recurso e divide-se entre recursos medidos e identificados, recursos inferidos e estimados e outras denominações. Finalmente, a terceira categoria é determinada pelo custo da extração. Os recursos convencionais são cotados em valores menores que US\$ 130/kg.

Os recursos uraníferos convencionais mundiais estão estimados em 14,8 milhões de toneladas (Mt), dos quais 4,7 Mt são recursos identificados e cerca de 10 Mt são recursos estimados. Esta quantificação é subestimada uma vez que 1/3 dos países, entre eles a Austrália, não registram os recursos inferidos. Os recursos não convencionais adicionais totalizam 22 Mt. Estes recursos estão associados com fosfatos e se inserem na categoria de custo menor que US\$ 130/kg (IAEA/NEA 2006).

Com base na geração nuclear de eletricidade em 2004, os 4,7 Mt são suficiente para cerca de 80 anos. Considerando as atuais tecnologias e taxas de uso, os recursos totais (convencionais e não convencionais) são suficientes para 270 anos. Entretanto, considerando a reciclagem do combustível queimado estes números são alterados para 4800-5600 anos e 16000-19000 anos, respectivamente (IAEA/NEA 2006).

Desde o histórico preço baixo de 2001, o custo do urânio no mercado a vista aumentou mais de 6 vezes conforme mostrado na Figura 11. Novos investimentos na exploração foi a resposta da indústria do urânio ao aumento ocorrido. Os investimentos mundiais totalizaram US\$ 130 milhões em 2004, um aumento de quase 40% em relação aos investimentos de 2002, e quase US\$ 200 milhões em 2005.



Fonte: The Ux Consulting Company, <http://www.uxc.com> (UxC 2006)

**Figura 11: Evolução de preço do urânio**

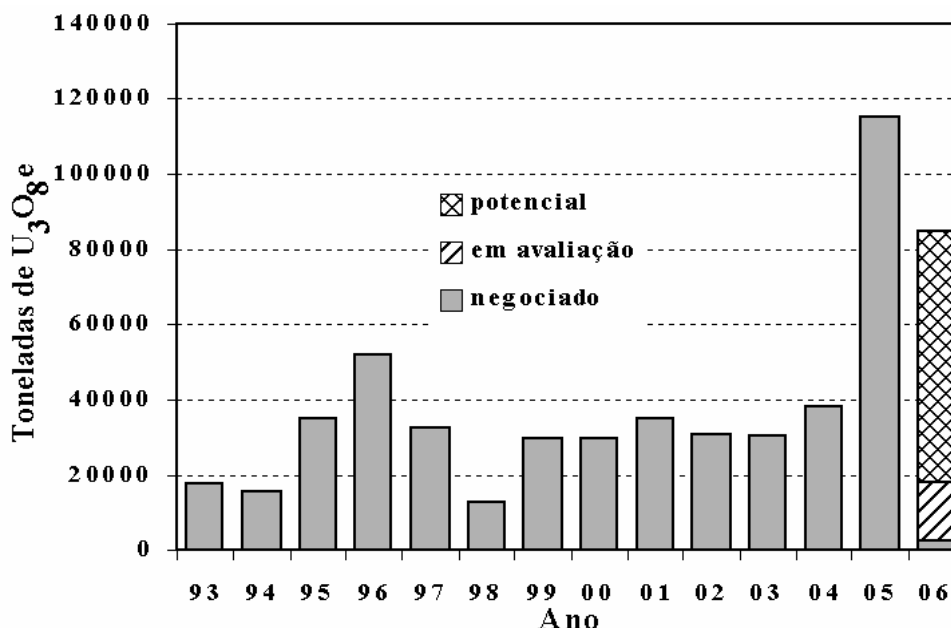
O custo do combustível é a parte menor dos custos da geração de eletricidade de fonte nuclear, cerca de 2%. Os custos dos combustíveis fósseis têm impactos da ordem de 40-70% nos custos de geração de eletricidade. Desta forma o aumento de custo do combustível nuclear tem impacto pequeno no custo final da geração (IAEA/NEA 2006).

Ao final de 2004, a produção mundial de urânio de 40263 toneladas atendeu cerca de 60% das necessidades mundiais de 67450 toneladas para os 443 reatores nucleares comerciais em operação. De acordo com a base de dados da IAEA, 27 reatores estavam em construção em dezembro de 2005. Ao longo dos anos, as diferenças entre a produção e a demanda foram supridas por fontes secundárias e pelo urânio liberado de uso militar. A redução da contribuição das fontes secundárias tende a ampliar o déficit entre produção e necessidade, que deverá ser coberto com a expansão da exploração do urânio.

**Comissão Nacional de Energia Nuclear**  
**Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

Canadá e Austrália responderam, respectivamente, por 29% e 22% da produção mundial de urânio em 2004. Os demais produtores maiores, Kasaquistão, Nigéria, Namíbia, Rússia e Uzbequistão, respondem individualmente por menos de 10% do total. Ação recomendada no Livro Vermelho é a retomada da exploração e mineração. Até 2010, novas minas são esperadas na Austrália, Canadá, Kasaquistão, Brasil, Índia e outros países.

A Figura 12 mostra o volume de equivalentes de  $U_3O_8$  negociado por meio de contratos a termo. O volume de 2005 mais que dobrou o recorde histórico de 1996. O potencial para 2006 indica a manutenção de um mercado aquecido. A negociação de suprimento de urânio entre China e Austrália, divulgado pela mídia em abril de 2006, envolve um volume de 20.000 toneladas e busca atender o parque nuclear a ser implantado pela China até 2015.



Fonte: The Ux Consulting Company, <http://www.uxc.com> (UxC 2006)

**Figura 12: Volumes de equivalentes de  $U_3O_8$  negociados em contratos a termo**

Com a retomada mundial da opção nuclear na geração de energia elétrica, outros déficits entre a capacidade de produção e a demanda devem ser equacionados para as demais etapas do ciclo como conversão, enriquecimento e reconversão. Conforme apontado por MATTOS et al. em “Perspectivas econômicas e estratégicas do combustível nuclear” (MATTOS, 2004), o envelhecimento das instalações nucleares de enriquecimento isotópico constitui uma das principais barreiras para a retomada da energia nuclear.

Dos atuais US\$ 5 bilhões/ano, o mercado global de urânio enriquecido deverá crescer ano a ano (NUCNET 2006a). De forma estratégica e alinhada com a retomada nuclear, as novas instalações de enriquecimento da americana USEC serão construídas a partir de 2007, iniciar as operações em 2009 e alcançar a capacidade de produção inicial em 2011 (NUCNET 2006b).

As capacidades de geração de fonte nuclear até 2025 são analisadas no Livro Vermelho de acordo com dois cenários, ambos admitindo o crescimento da geração nuclear. A partir da atual capacidade de geração de 370 GWe, a projeção baixa espera alcançar 450 GWe (+22%) em 2025 (437 GW, +20,7%, conforme IEA/DOE). e a projeção alta espera alcançar 530 GWe (+44%) no mesmo período. Estes incrementos representam demandas anuais das necessidades de urânio entre 80.000 a 100.000 toneladas. De acordo com a avaliação IAEA/NEA, os recursos de urânio, atualmente medidos e identificados, são adequados para atender esta expansão.

## **Comissão Nacional de Energia Nuclear Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

Os avanços contínuos da tecnologia nuclear apontam para a melhor utilização dos recursos de urânio. Os projetos de reatores, ora em desenvolvimento e teste, são capazes de extrair 30 vezes mais energia do urânio do que os reatores atuais e também incinerar os produtos radioativos de longa vida, reduzindo para 300 anos os requisitos de projeto dos repositórios.

As mensagens transmitidas por Mr. Yuri Sokolov, Diretor Geral da IAEA, no lançamento da nova edição do Livro Vermelho são (IAEA/NEA 2006):

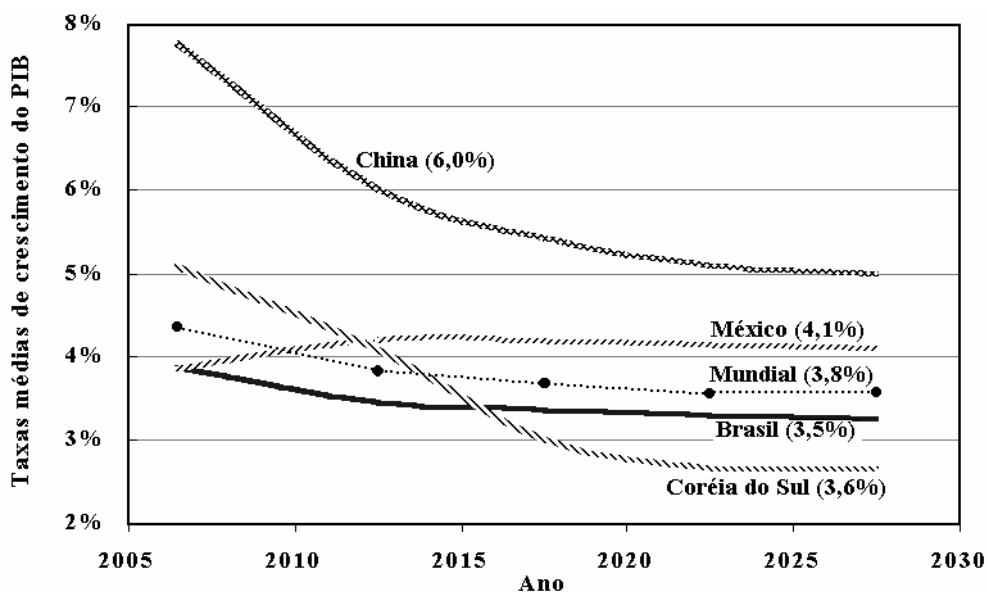
- Existe urânio suficiente para um futuro previsível,
- Fontes diversificadas de urânio (diversos países) aumentam a segurança no suprimento,
- Os aumentos de preços do urânio aumentaram a exploração e a produção, mas têm impacto pequeno nos custos da eletricidade de fonte nuclear,
- A atual expansão da produção de urânio deve continuar,
- Prospecção, recursos não convencionais e tecnologias avançadas podem ampliar acentuadamente a longevidade dos recursos de combustíveis nucleares.

A retomada da opção nuclear e o aquecimento do mercado de urânio constitui uma oportunidade econômica para países produtores, como o Brasil, que é discutida na Seção 3.

## **2. DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E CONSUMO DA ENERGIA ELÉTRICA**

No início de 2006 o Ministério de Minas e Energia, por meio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), lançou o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015 (PDEE) e iniciou os estudos para o Plano Nacional de Energia 2030 (PNE), (EPE 2006). De acordo com o Plano Decenal o consumo de energia elétrica do Brasil aumentará em 65% até 2015. Para os países em desenvolvimento a relação entre a taxa de crescimento de consumo de energia elétrica e a taxa de crescimento do produto interno bruto (PIB), chamada de elasticidade-renda do consumo de eletricidade, assume valores superiores a unidade. Esta observação resulta do fato de que a disponibilidade de energia elétrica é um dos elementos para a sustentação do desenvolvimento econômico. Com base em dados e informações do Plano Decenal, nos Cenários Macroeconômicos da apresentação do PNE 2030 e nos dados do International Energy Outlook–2006 (EIA/DOE), nesta Seção são comparadas as projeções até 2030 para o desenvolvimento econômico e o consumo da energia elétrica no Mundo, Brasil, México, China e Coréia do Sul. Os dados básicos utilizados nesta seção são apresentados nas tabelas do Anexo. Os crescimentos econômico e da geração de energia elétrica constituem o cenário brasileiro para o crescimento sustentável da geração nuclear discutido na Seção 3.

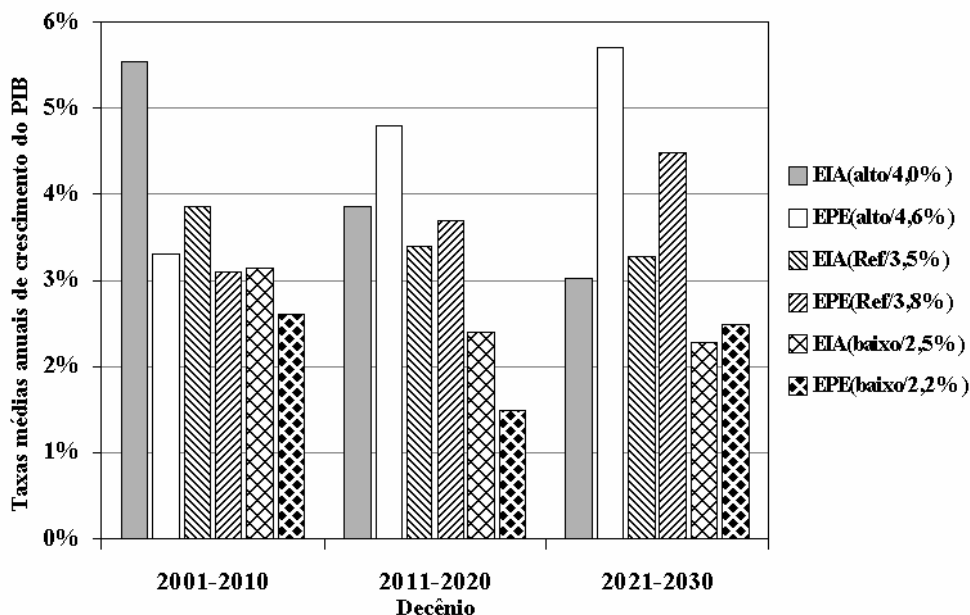
Na comparação das avaliações EIA/DOE e EPE/MME para o Brasil devem ser ressaltadas as diferenças básicas nas hipóteses de crescimento econômico alto, baixo e de referência. Inicialmente, a Figura 13 mostra as taxas médias de crescimento do PIB do mundo e dos países selecionados, conforme o cenário de referência/2006 da EIA/DOE. Em geral, as projeções das taxas médias anuais de desenvolvimento econômico dos países são decrescentes no período 2003-2030. Nesta Figura, o valor entre parênteses representa a taxa média anual de cada país para o período 2003-2030, conforme IEO 2006 da EIA/DOE.



Fonte: IEA/DOE 2006a

**Figura 13: Evolução de referência EIA/DOE para as taxas de crescimento do PIB**

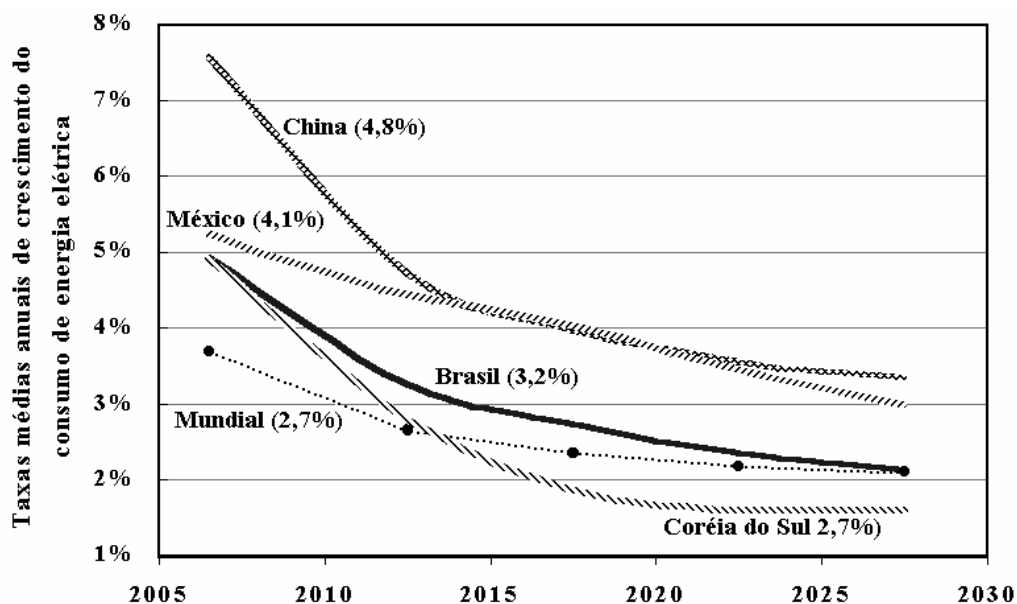
A Figura 14 apresenta as taxas médias de crescimento do PIB brasileiro de acordo com as projeções EIA/DOE e EPE/MME para os cenários de desenvolvimento econômico alto, de referência e baixo. Dentro de cada cenário, as taxas médias para o período 2001-2030 (valores entre parênteses) são similares, mas com evoluções diferentes nos decênios. Nos 3 cenários, as taxas médias da EIA/DOE para o Brasil são decrescentes ao longo do tempo, conforme a maioria das expectativas da Figura 13. Nas hipóteses do EPE/MME, entretanto, as taxas médias dos desenvolvimentos econômicos alto e de referência são admitidas crescentes no período.



Fonte: IEA/DOE 2006a e EPE 2006

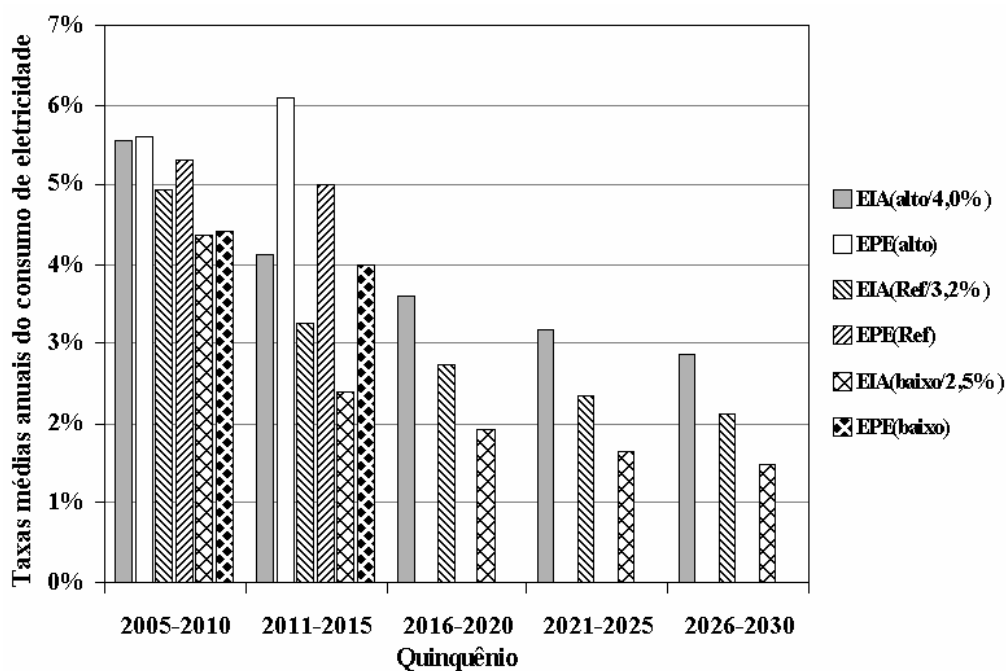
**Figura 14: Taxas médias de crescimento do PIB brasileiro conforme EIA e EPE**

Resultados similares são obtidos para as taxas de crescimento do consumo de energia elétrica, conforme mostrado nas Figuras 15 e 16. As previsões de crescimento do consumo de energia elétrica da EIA/DOE acompanham as projeções decrescentes do PIB. Por outro lado, as projeções decenais 2006-2015 da EPE/MME são decrescentes nos cenários desenvolvimento econômico de referência e baixo.



Fonte: IEA/DOE 2006a

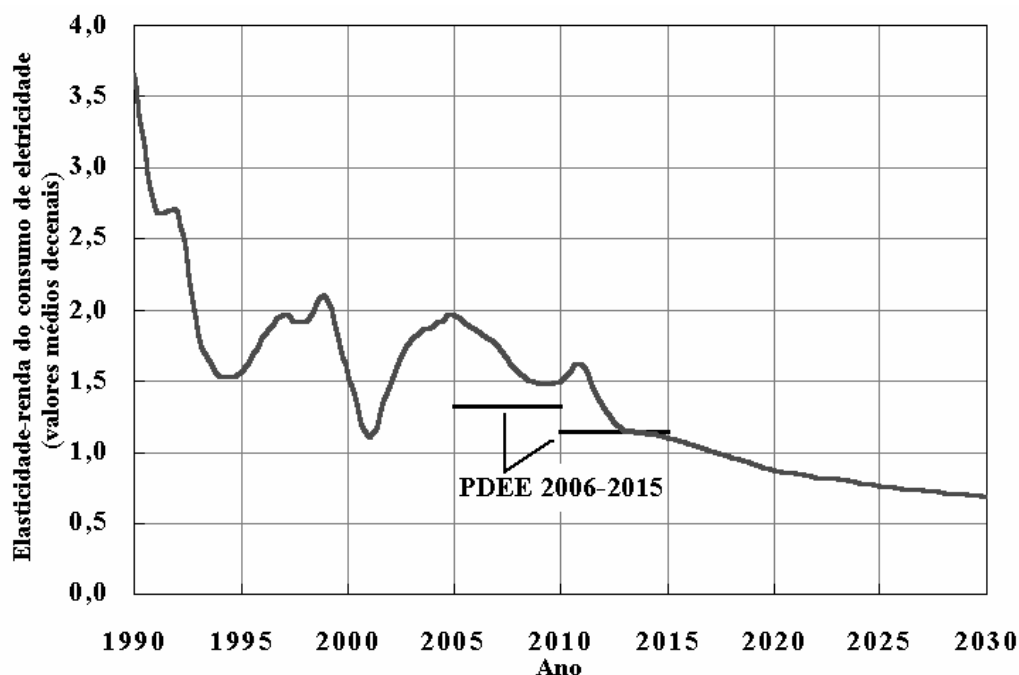
**Figura 15: Evolução de referência EIA/DOE para as taxas de crescimento do consumo de energia elétrica**



**Figura 16: Crescimento do consumo de energia elétrica do Brasil conforme EIA e EPE**

A elasticidade-renda do consumo de energia elétrica, avaliada a partir das taxas decenais de crescimento do consumo de eletricidade e do PIB, é mostrada na Figura 17. Em termos de evolução histórica, sempre com valores superior a unidade, é ressaltada a redução acentuada deste parâmetro a partir de 2012. O valor de 2012 representa a média para o período 2003-2012. Nesta figura são ainda indicados os valores médios anuais da elasticidade-renda, para períodos quinquenais conforme o PDEE 2006-2015.





Fonte: IEA/DOE 2006a e EPE 2006

**Figura 17: Elasticidade-renda do consumo de energia elétrica do Brasil conforme taxas médias decenais**

A redução apontada a partir de 2012, para a elasticidade-renda da Figura anterior, pode ser analisada como resultado de um crescimento econômico acentuado (denominador) ou de investimentos pequenos na geração de eletricidade (numerador).

As projeções de PIB e consumo de eletricidade per capita são mostradas nas Figuras 18 a 23, tendo por base os dados das tabelas do Anexo.

Inicialmente, a Figura 18 apresenta a evolução do PIB per capita, em dólares de 2000 e convertido pela taxa de câmbio de mercado, para a média mundial e os 4 países selecionados. Esta figura evidencia que:

- 1) o PIB per capita mundial deverá crescer de 1,9%/ano entre 2005 e 2030 e alcançar o valor de US\$ 8894 em 2030,
- 2) o Brasil terá entre 2005 e 2030 um desenvolvimento no PIB per capita de 2,4%/ano que não será suficiente para aproximá-lo da evolução mundial,
- 3) com uma evolução de 3,0%/ano no mesmo período, o PIB per capita mexicano deverá crescer em relação a média mundial,
- 4) com a fantástica evolução de 5,6%/ano, a previsão para a China mostra um crescimento de US\$ 1274 em 2005 para US\$ 4998 em 2030 (+292%),
- 5) no mesmo período, a Coreia do Sul consolida-se como país desenvolvido, devendo alcançar o PIB per capita superior a US\$ 32382 em 2030. Deve-se notar que na década de 1970, Brasil e Coreia do Sul tinham estes indicadores em valores similares.

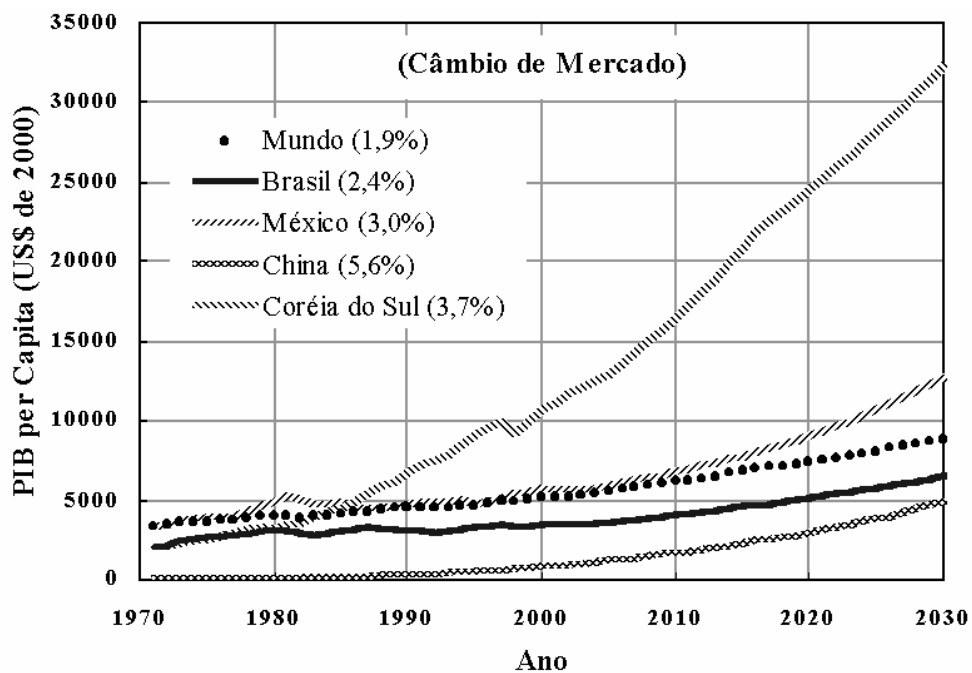


Figura 18: Evolução EIA/DOE do PIB per capita em dólares de 2000 e câmbio de mercado

Em economia, a paridade do poder de compra (PPC) é um método alternativo para se calcular a relação do poder de compra entre países, de modo a considerar tanto as diferenças de rendimento como também as diferenças de custo de vida. A PPC mede quanto uma determinada moeda pode comprar em termos internacionais (normalmente dólar), já que bens e serviço têm diferentes preços de um país para outro. Utilizando-se da paridade do poder de compra, como mostrado na Figura 19, ficam evidenciados outros aspectos significativos: a evolução do Brasil não mais acompanha a evolução mundial e, no entorno de 2017, o poder de compra do cidadão chinês suplanta o poder de compra do cidadão brasileiro. Novamente, os valores entre parênteses representam as taxas médias anuais no período 2005 a 2030.

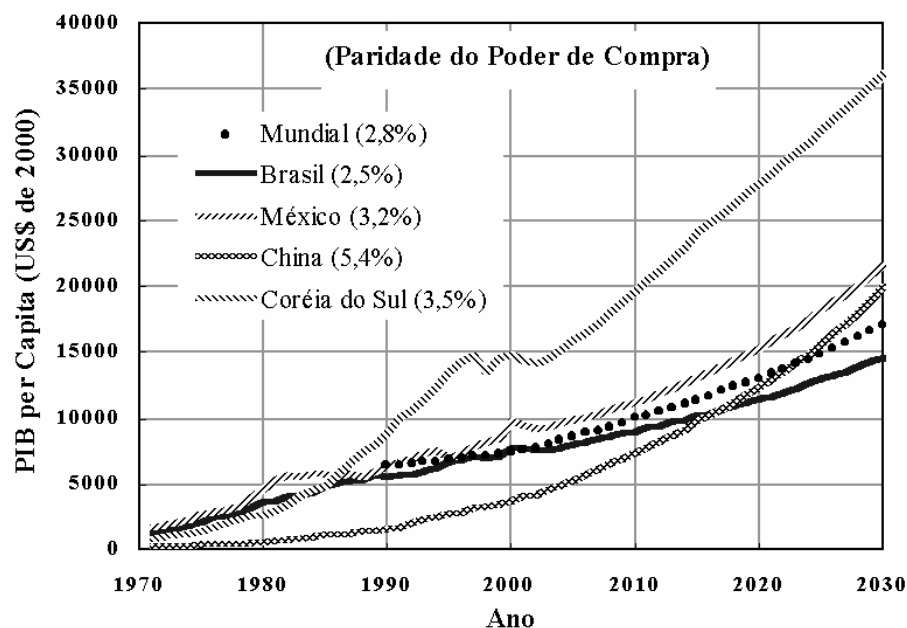


Figura 19: Evolução EIA/DOE do PIB per capita em paridade do poder de compra

Na Figura 20 são comparadas as evoluções do PIB per capita do Brasil, nas visões da EIA/DOE e do EPE/MME, conforme PNE 2030, para os cenários de desenvolvimento econômico de referência, alto e baixo. No cenário de alto desenvolvimento econômico do Brasil, o PIB per capita aproxima-se bastante do valor mundial de 2030, conforme projeção de referência da EIA/DOE. Em comparação com as projeções de crescimento do PIB do EPE/MME, as avaliações da EIA/DOE são mais conservadoras nos cenários de desenvolvimentos econômicos alto e de referência, e mais otimista no cenário de desenvolvimento econômico baixo.

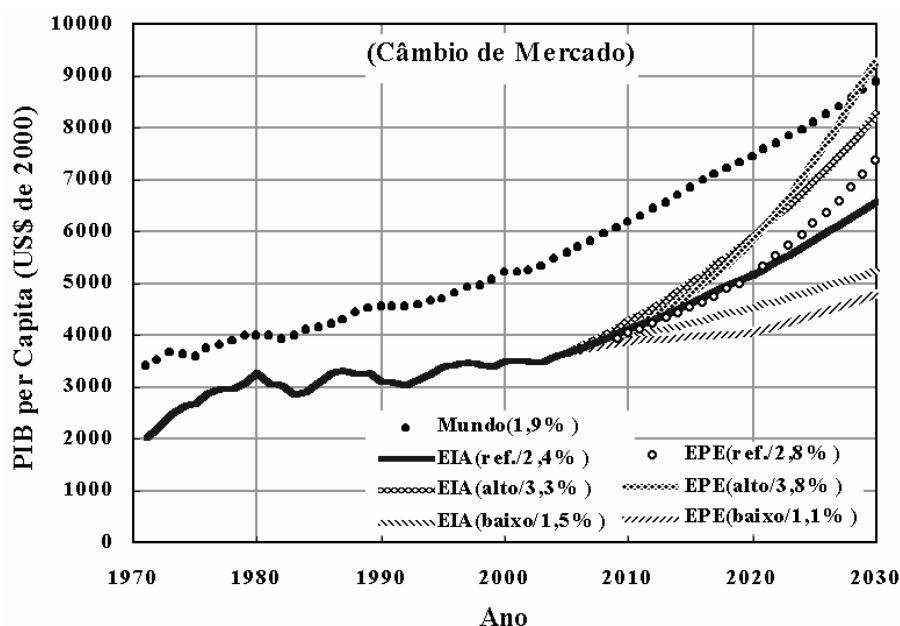


Figura 20: Evoluções EIA/DOE e EPE/MME do PIB per capita do Brasil

O consumo de energia elétrica per capita, com base nos dados 2006 da EIA/DOE, são mostrados na Figura 21. As projeções de crescimento chinês e mexicano levam os consumos de eletricidade per capita a superarem a média mundial, enquanto o Brasil mantém-se na média mundial. O esforço sul-coreano leva este indicador para 12.755 kWh em 2030. Ressalta-se, nesta figura, a similaridade de valores para o consumo per capita de Brasil e Coréia do Sul na década de 1980. Entre parênteses tem-se a taxas médias anuais para o período 2005 a 2030.

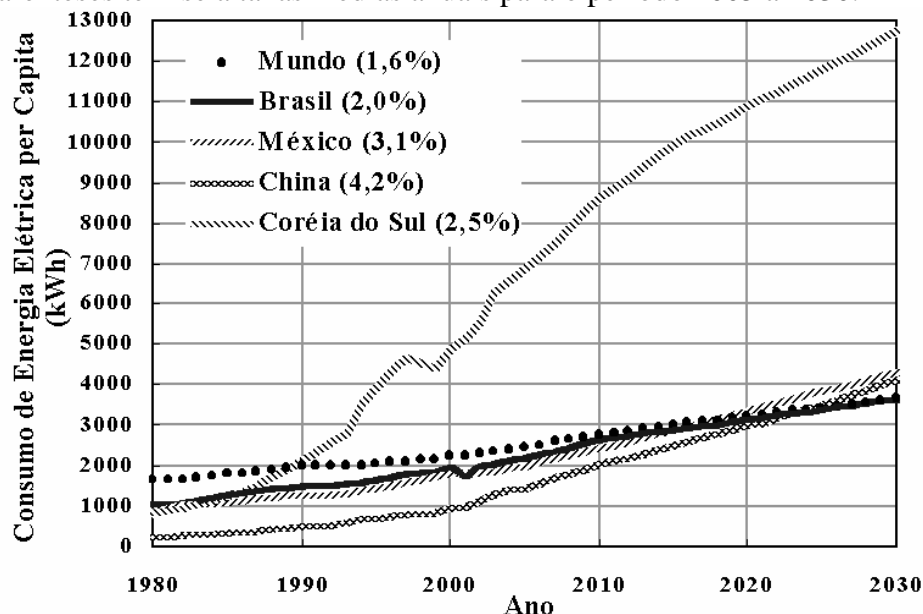


Figura 21: Evoluções EIA/DOE para o consumo de energia elétrica per capita

As projeções de crescimento do consumo de energia elétrica per capita, segundo os 3 cenários de desenvolvimento econômico, são mostrados na Figura 22. As projeções EIA/DOE consideram, praticamente, a mesmas taxas de crescimento de consumo do PDEE 2006-2015 e, portanto, apresentam os mesmos resultados em 2015.

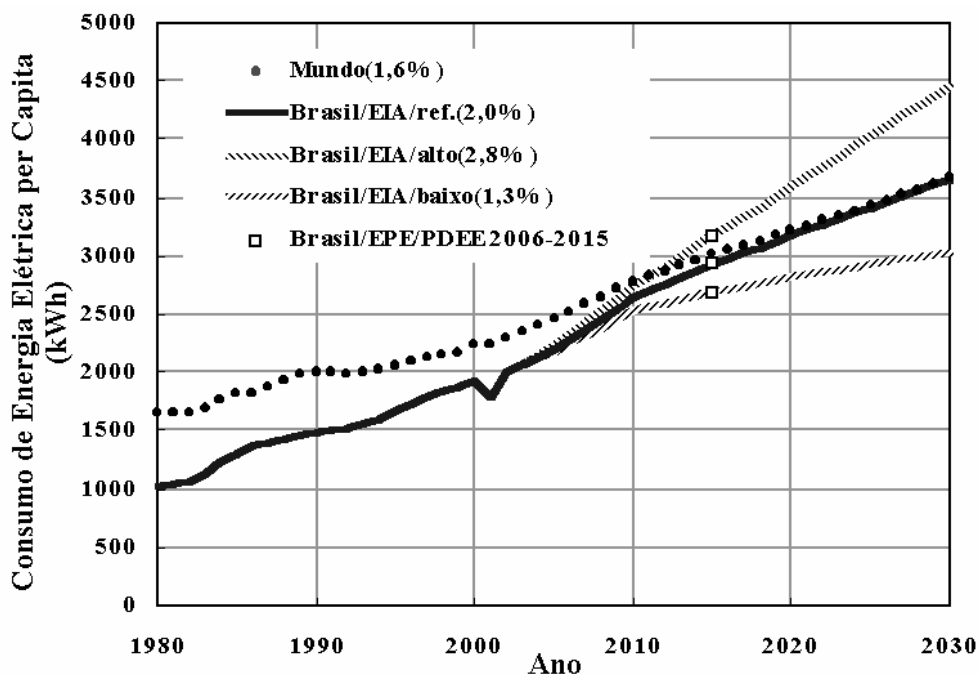


Figura 22: Evoluções EIA/DOE e EPE do consumo de eletricidade per capita no Brasil

A evolução da intensidade do consumo de eletricidade por dólar do PIB é mostrada na Figura 23. A evolução do Brasil, mostrada na Figura, refere-se a projeção de referência da EIA/DOE. As projeções de desenvolvimento econômico alto e de referência da EPE (Figura 20) são superiores às projeções da EIA, enquanto as projeções de consumo de eletricidade são similares (Figura 22); assim, as intensidades projetadas pela EPE situam-se abaixo da projeção EIA/DOE.

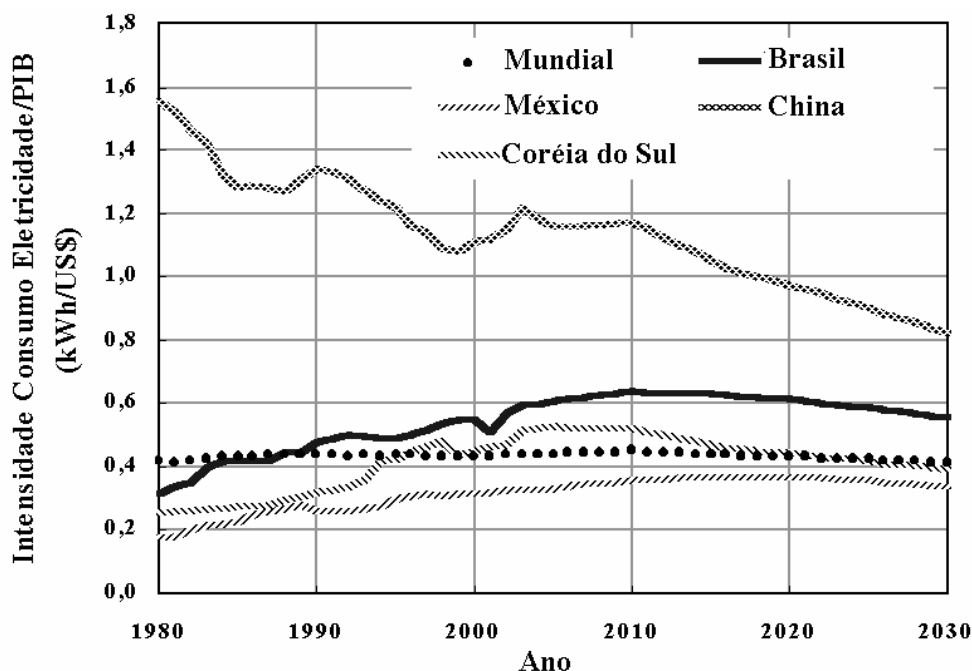


Figura 23: Evolução da intensidade de consumo por dólar do PIB

## Comissão Nacional de Energia Nuclear Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear

Portanto, os resultados das projeções indicam que o Brasil deverá manter um desenvolvimento econômico baixo, mesmo na comparação com a média mundial. Os investimentos projetados para o crescimento da geração de energia elétrica são também reduzidos, em relação a evolução histórica da elasticidade-renda, de modo que esta geração possa sustentar ou alavancar um maior desenvolvimento econômico.

### 3. BRASIL NUCLEAR

Nesta Seção é abordado como a energia nuclear brasileira pode contribuir para a geração de excedentes na geração de eletricidade e, desta forma, para o próprio desenvolvimento econômico do País. Com 1/3 de seu território prospectado, as reservas geológicas de urânio no Brasil alcançam 309 mil toneladas, conforme quantidades indicadas e inferidas da Tabela 3. No contexto de recursos adicionais a estimativa brasileira é de 800 mil toneladas de  $U_3O_8$  (TAVARES 2004) e, de acordo com esta avaliação, o país passa a ser a 3ª reserva mundial.

**Tabela 3: Recursos de urânio no Brasil (INB 2004)**

| Ocorrência                | Medidas e Indicadas |                  |          | Inferidas        | TOTAL          |
|---------------------------|---------------------|------------------|----------|------------------|----------------|
|                           | < 40<br>US\$/kgU    | < 80<br>US\$/kgU | Subtotal | < 80<br>US\$/kgU |                |
| Caldas (MG)               |                     | 500              | 500      | 4.000            | 4.500          |
| Lagoa Real / Caetité (BA) | 24.200              | 69.800           | 94.000   | 6.770            | 100.770        |
| Itaiaia (CE)              | 42.000              | 41.000           | 83.000   | 59.500           | 142.500        |
| Outras                    |                     |                  |          | 61.600           | 61.600         |
| <b>TOTAL</b>              | 66.200              | 111.300          | 177.500  | 131.870          | <b>309.370</b> |

A ocorrência de Itaiaia está associada com o fosfato, cuja exploração contribuirá para a eliminação da dependência externa e aumento significativo no superávit da balança comercial brasileira, uma vez que a importação de fosfato, pelo País em 2003, superou US\$ 2,5 bilhões. Outras ocorrências indicam a presença de elementos raros, como nióbio, tântalo, ítrio, etc, que tornam comercialmente valiosa a exploração do urânio brasileiro.

A opção nuclear no Brasil, até recentemente defendida na sua dimensão puramente estratégica, passa a ser importante contribuição do ponto de vista da diversificação e regulação termoeletrica, necessária para conferir confiabilidade ao sistema elétrico brasileiro. No passado, a indecisão na implementação plena do setor nuclear teve prejuízos provocados pela utilização reduzida dos recursos humanos e infra-estrutura criada, além de um baixo aproveitamento de uma fonte energética primária abundante, barata e disponível no subsolo brasileiro. Presentemente, o Brasil tem nova oportunidade de explorar a opção nuclear para conferir maior diversificação e confiabilidade ao sistema elétrico brasileiro, cujo primeiro passo é a conclusão da Usina de Angra 3, seguindo-se de outras instalações nucleares (MATOS et al. 2006).

Com a conclusão de Angra 3 a indústria nuclear brasileira fica próxima de sua sustentabilidade e autonomia econômica. Entretanto, investimentos são ainda necessários para a conclusão de instalações de diversas etapas do ciclo, em especial o enriquecimento do urânio.

A conclusão da primeira fase industrial da usina de enriquecimento foi adiada de 2008 para 2010, quando a capacidade instalada — 114 mil Unidades de Trabalho de Separação (UTS) — deverá suprir 60% do combustível consumido nas usinas de Angra 1 e 2, responsáveis por 4,5% da geração nacional de energia. Até lá, o governo promete investir R\$ 250 milhões, sendo R\$ 22,4 milhões em 2006. O abastecimento de Angra 3 demandará nova expansão e a segunda etapa do projeto, que elevará a capacidade de produção para 203 mil UTS (DANTAS 2005). De acordo com o The Ux Consulting Company (<http://www.uxc.com>) o trabalho separativo de enriquecimento, no mercado a vista, alcançou US\$ 127/UTS em 29 de maio de 2006.

**Comissão Nacional de Energia Nuclear**  
**Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

Conforme análise econômica de J.C. Fonseca, o tamanho da dívida interna impõe limitações na capacidade de investimentos do país (FONSECA 2006). Adicionalmente, os investimentos atualmente realizados têm um forte caráter social e atendem necessidades prementes da população. A geração e disponibilização de energia elétrica são necessidades de caráter estratégico e econômico.

**3.1. Sustentabilidade da Atividade Nucleoelétrica no Brasil**

A sustentabilidade da atividade nucleoelétrica no Brasil deve ser avaliada em termos dos recursos geológicos de urânio e das reservas estratégicas para a sustentação da operação das centrais nucleares existentes e projetadas.

Esta avaliação foi desenvolvida com valores de referência do Nuclear Fuel Energy Balance Calculator (WISE 2006) mostrados na Tabela 4. Considerando a troca anual de 1/3 do núcleo, os dados de Angra I e II da Tabela 5 permitem estimar a massa de urânio na etapa de fabricação em 16,6 tU para Angra I e 34,9 tU para Angra II. A partir destes dados e utilizando o Nuclear Fuel Calculator são obtidos, os resultados resumidos na Tabela 6.

Considerando as potências de Angra I e II (2007 MW) e a operação em 330 dias do ano, a taxa de consumo de urânio é expressa como 232 tU<sub>3</sub>O<sub>8</sub>/1000 MW.ano. A partir desta taxa de consumo e considerando o cenário de conclusão de Angra III até 2012 e, conforme proposição de Othon P. Silva (SILVA 2006), a entrada em operação de 10 centrais de 1300 MW a cada três anos, pode-se determinar a reserva estratégica de urânio que sustentaria o parque nuclear brasileiro. A Tabela 7 mostra que a reserva de 220 000 tU<sub>3</sub>O<sub>8</sub> permite a operação de 13 centrais ao longo de toda a vida útil (60 anos). Nesta condição idealizada, a potência nuclear instalada terá a evolução mostrada na Figura 24 e a última central será retirada de operação em 2102.

**Tabela 4: Parâmetros do Nuclear Fuel Energy Balance Calculator**

| Process Parameters      |                                                                                                 |                                                |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| <b>Ore Deposit</b>      | Waste/Ore Ratio: <b>5</b>                                                                       | Ore Grade: <b>0.2</b> %U                       |
| <b>Mill</b>             | Extraction Losses: <b>4.239905</b> %                                                            |                                                |
| <b>Conversion</b>       | Losses: <b>0.5</b> %<br>Solid waste: <b>0.7</b> t per tU                                        | Liquid waste: <b>6.5</b> m <sup>3</sup> per tU |
| <b>Enrichment</b>       | Product Assay: <b>3.6</b> %U-235<br>Specific Electricity Consumption: <b>2300</b> kWh/SWU (UTS) | Tails Assay: <b>0.3</b> %U-235                 |
| <b>Fuel Fabrication</b> | Losses: <b>1</b> %<br>Solid waste: <b>0.5</b> m <sup>3</sup> per tU                             | Liquid waste: <b>9</b> m <sup>3</sup> per tU   |
| <b>Power Plant</b>      | Fuel Burnup: <b>42</b> GWd/tU                                                                   | Efficiency: <b>34.2</b> %                      |

**Tabela 5: Dados de Angra I e Angra II**

| Elemento Combustível | Angra I | Angra II |
|----------------------|---------|----------|
| Quantidade           | 121     | 193      |
| Varetas              | 28.435  | 45.548   |
| Pastilhas (milhões)  | 10,5    | 17,5     |
| Comprimento (metros) | 4       | 5        |
| Peso (kg de urânio)  | 411     | 543      |
| Peso total (tU)      | 49,7    | 104,8    |

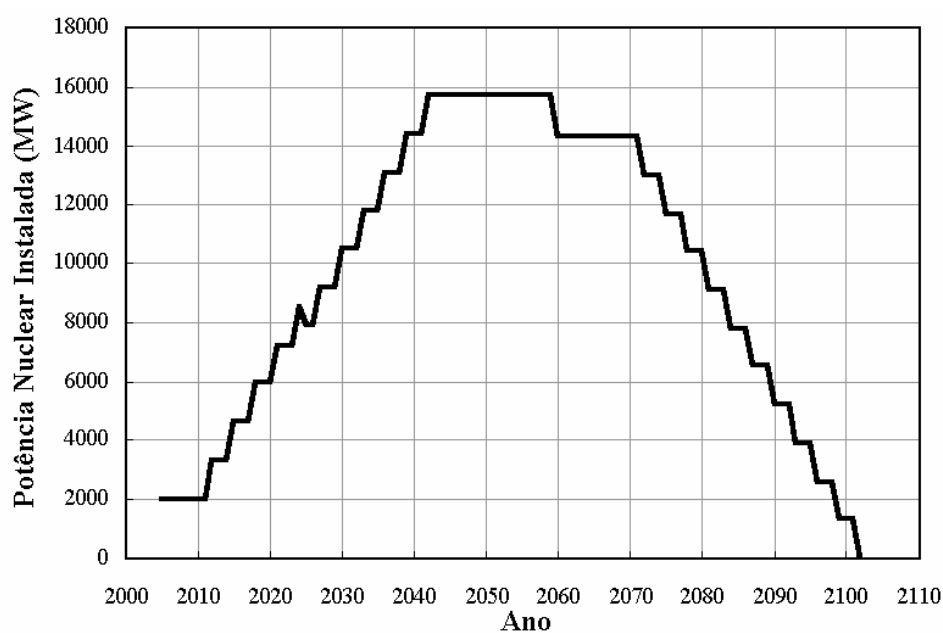
Fonte: www.inb.gov.br

**Tabela 6: Resultados do Nuclear Fuel Energy Balance Calculator**

| Fator de disponibilidade: 0,9                           | Angra I | Angra II | Total |
|---------------------------------------------------------|---------|----------|-------|
| Quantidade inicial de U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> (t) | 150,3   | 316,1    | 466,3 |
| Energia elétrica produzida em 330 dias/ano (GWh)        | 5150    | 10828    | 15979 |

**Tabela 7: Evolução do consumo de U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> pelo parque nuclear brasileiro**

| Centrais               | Vida útil | Consumo Anual (tU <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) | Consumo acumulado por central (tU <sub>3</sub> O <sub>8</sub> ) |              |              |              |              |               |               |               |               |               |               |
|------------------------|-----------|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                        |           |                                                 | 2010                                                            | 2020         | 2030         | 2040         | 2050         | 2060          | 2070          | 2080          | 2090          | 2100          | 2110          |
| Angra I                | 1985-25   | 152,7                                           | 763                                                             | 2290         | 3053         |              |              |               |               |               |               |               |               |
| Angra II               | 2000-60   | 313,7                                           | 1568                                                            | 4705         | 7842         | 10979        | 14116        | 17253         |               |               |               |               |               |
| Angra III              | 2012-72   | 313,7                                           |                                                                 | 2509         | 5646         | 8783         | 11920        | 15057         | 18194         | 18821         |               |               |               |
| Usina 1                | 2015-75   | 302,1                                           |                                                                 | 1510         | 4531         | 7552         | 10572        | 13593         | 16614         | 18124         |               |               |               |
| Usina 2                | 2018-78   | 302,1                                           |                                                                 | 604          | 3625         | 6645         | 9666         | 12687         | 15707         | 18124         |               |               |               |
| Usina 3                | 2021-81   | 302,1                                           |                                                                 |              | 2719         | 5739         | 8760         | 11781         | 14801         | 17822         | 18124         |               |               |
| Usina 4                | 2024-84   | 302,1                                           |                                                                 |              | 1812         | 4833         | 7854         | 10874         | 13895         | 16916         | 18124         |               |               |
| Usina 5                | 2027-87   | 302,1                                           |                                                                 |              | 906          | 3927         | 6948         | 9968          | 12989         | 16010         | 18124         |               |               |
| Usina 6                | 2030-90   | 302,1                                           |                                                                 |              |              | 3021         | 6041         | 9062          | 12083         | 15103         | 18124         |               |               |
| Usina 7                | 2033-93   | 302,1                                           |                                                                 |              |              | 2114         | 5135         | 8156          | 11176         | 14197         | 17218         | 18124         |               |
| Usina 8                | 2036-96   | 302,1                                           |                                                                 |              |              | 1208         | 4229         | 7250          | 10270         | 13291         | 16312         | 18124         |               |
| Usina 9                | 2039-99   | 302,1                                           |                                                                 |              |              | 302          | 3323         | 6343          | 9364          | 12385         | 15405         | 18124         |               |
| Usina 10               | 2042-02   | 302,1                                           |                                                                 |              |              |              | 2417         | 5437          | 8458          | 11479         | 14499         | 17520         | 18124         |
| <b>Total acumulado</b> |           |                                                 | <b>2332</b>                                                     | <b>11619</b> | <b>30135</b> | <b>58157</b> | <b>94033</b> | <b>130514</b> | <b>163857</b> | <b>192577</b> | <b>211305</b> | <b>219763</b> | <b>220367</b> |



**Figura 24: Evolução da potência nuclear instalada**

## **Comissão Nacional de Energia Nuclear Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

Considerando a evolução proposta para o cenário nuclear, esta fonte de energia será responsável, em 2030, pela geração de 83,2 bilhões de kWh, que corresponde a 9,5% do total da expectativa de consumo de 871 bilhões de kWh, conforme projeção dos dados da EIA/DOE. No cenário de referência da EPE, o percentual de 3,68% da energia nuclear para a matriz elétrica de 2023 (EPE 2006) corresponde a geração de 34,6 bilhões de kWh, enquanto, na evolução aqui apresentada, esta geração é de 57,5 bilhões de kWh no mesmo ano e 67,8 bilhões de kWh já em 2024.

Sem ônus adicional para o Tesouro Nacional, a sustentabilidade e autonomia econômica do setor nuclear pode ser alcançada com base nos seguintes fatos e ações:

- 1) A reserva estratégica de urânio para o cenário de implantação e operação, ao longo do século XXI, de 13 centrais nucleares é de 220 mil toneladas de  $U_3O_8$ . Os recursos de urânio adicionais do País são estimados acima de 800 mil toneladas de  $U_3O_8$ ,
- 2) Em grande parte dos recursos geológicos não convencionais e adicionais do País, o urânio é um subproduto, cujo beneficiamento permitirá uma margem de lucratividade significativa, em particular frente aos atuais preços de mercado,
- 3) Os recursos financeiros obtidos com a exportação de parte dos excedentes de urânio podem ser direcionados para (a) instalação das usinas de tratamento e beneficiamento de urânio, (b) antecipar a conclusão dos investimentos das etapas do ciclo, em especial do enriquecimento, que permitirá maior agregação de valor ao produto nuclear brasileiro, (c) financiamento de parte da construção de novas centrais, (d) financiamento da pesquisa e desenvolvimento da energia nuclear e (e) financiamento da formação de mão de obra especializada em apoio ao crescimento da energia nuclear no País.

Alguns aspectos reforçam a atuação da Comissão Nacional de Energia Nuclear, CNEN, dos Institutos de C&T e das universidades brasileiras:

- i) a prospecção, de responsabilidade da CNEN, é uma atividade a ser conduzida com o objetivo de aumentar o nível de conhecimento ou confiança na quantificação dos recursos geológicos de urânio do País;
- ii) as atividades de P&D devem ser orientadas para todas as etapas do ciclo do combustível nuclear, tais como, estabelecimento dos processos de tratamento e beneficiamento com base na gênese do minério brasileiro; evoluções tecnológicas nas etapas de conversão, enriquecimento, reconversão e fabricação dos combustíveis nucleares avançados; projetos evolucionários e avançados para reatores nucleares de potência, tratamento e disposição de rejeitos radioativos;
- iii) o acompanhamento e atualização das práticas de segurança e radioproteção em instalações nucleares;
- iv) a instalação e implantação da certificação e qualificação para os produtos nucleares brasileiros;
- v) a formação de mão de obra especializada para a indústria, a pesquisa e a segurança nuclear.

Neste processo é reforçada a atuação institucional da CNEN. A União tem o monopólio da mineração de elementos radioativos, da produção e do comércio de materiais nucleares, sendo este monopólio exercido pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN).

A missão da CNEN de "garantir o uso seguro e pacífico da energia nuclear, desenvolver e disponibilizar tecnologias nuclear e correlatas, visando o bem estar da população", traduz a preocupação com a segurança e o desenvolvimento do setor, orientando sua atuação pelas expectativas da sociedade, beneficiária dos serviços e produtos.



## **REFERÊNCIAS**

- BARROS, P.M. **Energia Nuclear - uma opção inevitável para Portugal**, 22 de fev. de 2006. Disponível em: <http://www.ordemengenheiros.pt>. Acesso em: março/2006.
- DANTAS, C. Urânio produzido em escala industrial. **Correio Braziliense**, 29 Dez. 2005.
- DIAS, M.S.; MATTOS, J.R.L.; JORDÃO, E.; VASCONCELOS V. Retomada da energia nuclear: opção estratégica e inovação tecnológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, XI, Ago. 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: COPPE, 2006a, v. IV, p. 2261-2274.
- DIAS, M.S.; MATTOS, J.R.L.; JORDÃO, E.; VASCONCELOS V. Os novos paradigmas da energia nuclear. In: ENCONTRO TÉCNICO-CIENTÍFICO DA 6ª ECOLATINA, set. 2006, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: IETEC, 2006b, CD.
- EIA/DOE - Energy Information Administration. **International energy outlook – 2006**, June 2006a, (DOE/EIA-0484(2006)). Disponível em: [www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/](http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/).
- EIA/DOE - Energy Information Administration. Arquivo Excel t14.xls, 2006b. Disponível em: <http://www.eia.doe.gov/emeu/ipsr/t14.xls>. Acesso em: 30/04/2006.
- EIA/DOE - Energy Information Administration. **Annual energy outlook – 2006**, Feb. 2006c, (DOE/EIA-0383(2006)), Disponível em: [www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/](http://www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/).
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Plano decenal de expansão de energia elétrica 2006-2015 e Plano nacional de energia 2030**. Ministério de Minas e Energia. Disponível em: [www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br). Acesso em maio de 2006.
- FONSECA, J.C.P. Especialistas recomendam mudar o paradigma para o País crescer, Assoc. Brasileira de Telecomunicações, **Telebrasil on line**, Disponível em: [www.telebrasil.org.br/artigos/outros\\_artigos.asp?m=392](http://www.telebrasil.org.br/artigos/outros_artigos.asp?m=392). Acesso em 01/06/2006.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. **Nuclear power and sustainable development**, Apr. 2006a. Disponível em: [www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/npsd0506.html](http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/npsd0506.html).
- IAEA - International Atomic Energy Agency. Data Center, Apr. 2006b. Disponível em: <http://www.iaea.org/DataCenter>.
- IAEA - International Atomic Energy Agency. **Sustainable development and nuclear power**, Jun. 1997. Disponível em: [www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/devnine.html](http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Development/devnine.html)
- IAEA/NEA **Uranium Resources: plenty to sustain growth of nuclear power**. Disponível em: [www.nea.fr/html/general/press/2006/2006-02.html](http://www.nea.fr/html/general/press/2006/2006-02.html) e [www.iaea.org/NewsCenter/Statements/DDGs/2006/sokolov01062006.html](http://www.iaea.org/NewsCenter/Statements/DDGs/2006/sokolov01062006.html). Acesso em: 05/06/2006.
- INB - Indústrias Nucleares do Brasil. Disponível em: [www.inb.gov.br](http://www.inb.gov.br). Acesso em: 20/05/2004.
- LOVELOCK, J. Nuclear power is the only green solution, **The Independent**, 24 May 2004, Disponível em: <http://www.ecolo.org/media/articles/love-indep-24-05-04>. Energia Nuclear é Solução para Aquecimento Global. **Revista Brasil Nuclear**, Rio de Janeiro, n. 27, 2004.

**Comissão Nacional de Energia Nuclear**  
**Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

MATTOS, J.R.L.; DIAS, M.S.; JORDÃO, E.; VASCONCELOS V. Perspectivas econômicas e estratégicas do combustível nuclear, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, X, Out. 2004, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: COPPE, 2004, v. I, p. 414-26

MATTOS, J.R.L.; DIAS, M.S.; JORDÃO, E.; VASCONCELOS V. Indecisão nuclear: prejuízo no passado e um risco para o futuro, , In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA, XI, Ago. 2006, Rio de Janeiro. **Anais...**, Rio de Janeiro: COPPE, 2006, v. IV, p. 2193-2200

MEYER, M.K. Tutorial 1: Advanced Fuels, In: BIG 10 NUCLEAR ENGINEERING WORKSHOP: ENABLING OUR ENERGY SECURITY THROUGH THE NUCLEAR FUEL CYCLE. Argonne National Lab., Jul. 2004.

MOORE, P. Going Nuclear – a green makes the case, **Washington Post** ,16 April 2006. Disponível em: [www.washingtonpost.com/wp/dyn/content/article/2006/04/14/AR200604140129.html](http://www.washingtonpost.com/wp/dyn/content/article/2006/04/14/AR200604140129.html).

NUCNET – The Nuclear Communications Network. Silex and GE sign agreement on third generation enrichment technology. **News**, n. 107, 23 May 2006a, Disponível em: [www.worldnuclear.org](http://www.worldnuclear.org).

NUCNET – The Nuclear Communications Network. American centrifuge on target to begin enrichment in 2009. **News**, n. 81, 26 April 2006b, Disponível em: [www.worldnuclear.org](http://www.worldnuclear.org).

RITCH, J. Preparing for the Coming Nuclear Century In: NUCLEAR INDUSTRY SEMINAR: NUCLEAR ENERGY – A HARD LOOK AT THE FUTURE. Feb. 2004, Ontario, Canada. **Proceedings...**Disponível em: <http://www.world-nuclear.org/dgspeeches/ontario2004pint.html>. Acesso em: fev./2006.

SILVA, O.L.P. **Angra III – Inserção no contexto do planejamento do sistema elétrico nacional**. Palestra apresentada no Conselho Empresarial de Energia, Associação Comercial do RJ, abr. 2006.

STILLMAN, J.A. et al. Comparison of inert-matrix fuels for actinide recycling. In: WORKSHOP ON ADVANCED REACTORS WITH INNOVATIVE FUELS. Oak Ridge, USA, Feb. 2005.

TARJANNE, R. The role of nuclear energy in Finland. In: FORATOM SEMINAR AT EU, NUCLEAR ENERGY: MEETING THE CHALLENGE OF CLIMATE CHANGE, Bruxelas, Oct. 2005.

TAVARES, A.M. Tema 1 - Aspectos econômicos e estratégicos da exploração do urânio. In: ENCONTRO 2004 SOBRE AS PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR - CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR, 20-22 out. 2004, Angra dos Reis, CDTN/CNEN, 2004.

UxC, **The Ux Consulting Company, LLC**, Disponível em: <http://www.uxc.com>. Acesso em 03/04/2006.

WISE Uranium Project. **Nuclear fuel energy balance calculator**. Disponível em: [www.wise-uranium.org/nfce.html](http://www.wise-uranium.org/nfce.html). Acesso em: junho 2006.

**ANEXO – Projeções Econômicas e de Consumo de Energia Elétrica até 2030**

Neste anexo são apresentadas os dados básicos, utilizados na consolidação das evoluções históricas e projeções até 2030, dos desenvolvimentos econômicos e de consumo de energia elétrica.

**Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

**Tabela A1: População em milhões**

| Ano  | Mundo | Brasil | México | China  | Coréia do Sul | Ano  | Mundo | Brasil | México | China  | Coréia do Sul |
|------|-------|--------|--------|--------|---------------|------|-------|--------|--------|--------|---------------|
| 1971 | 3786  | 94,7   | 54,4   | 842,5  | 32,9          | 2001 | 6156  | 173,8  | 101,2  | 1276,9 | 47,7          |
| 1972 | 3863  | 97,2   | 56,0   | 863,4  | 33,5          | 2002 | 6230  | 176,4  | 102,5  | 1284,3 | 48,0          |
| 1973 | 3939  | 99,8   | 57,6   | 883,0  | 34,1          | 2003 | 6303  | 179,0  | 103,7  | 1291,5 | 48,2          |
| 1974 | 4013  | 102,3  | 59,1   | 901,3  | 34,7          | 2004 | 6377  | 181,6  | 105,0  | 1298,8 | 48,4          |
| 1975 | 4086  | 104,9  | 60,7   | 917,9  | 35,3          | 2005 | 6451  | 184,2  | 106,2  | 1306,3 | 48,6          |
| 1976 | 4158  | 107,6  | 62,2   | 932,6  | 35,9          | 2006 | 6527  | 186,8  | 107,5  | 1316,0 | 48,7          |
| 1977 | 4230  | 110,2  | 63,8   | 946,1  | 36,4          | 2007 | 6604  | 189,3  | 108,9  | 1325,7 | 48,8          |
| 1978 | 4302  | 113,0  | 65,3   | 958,8  | 37,0          | 2008 | 6682  | 191,9  | 110,2  | 1335,5 | 48,9          |
| 1979 | 4377  | 115,7  | 66,8   | 972,1  | 37,5          | 2009 | 6761  | 194,4  | 111,6  | 1345,4 | 48,9          |
| 1980 | 4453  | 118,6  | 68,3   | 984,7  | 38,1          | 2010 | 6841  | 196,8  | 113,0  | 1355,3 | 49,0          |
| 1981 | 4529  | 121,4  | 70,0   | 997,0  | 38,7          | 2011 | 6915  | 199,3  | 114,2  | 1362,8 | 49,0          |
| 1982 | 4608  | 124,3  | 71,6   | 1012,5 | 39,3          | 2012 | 6989  | 201,6  | 115,4  | 1370,4 | 49,0          |
| 1983 | 4690  | 127,1  | 73,4   | 1028,4 | 39,9          | 2013 | 7064  | 204,0  | 116,6  | 1378,0 | 49,0          |
| 1984 | 4770  | 130,1  | 75,1   | 1042,8 | 40,4          | 2014 | 7140  | 206,2  | 117,8  | 1385,6 | 49,0          |
| 1985 | 4852  | 133,0  | 76,8   | 1058,0 | 40,8          | 2015 | 7217  | 208,5  | 119,0  | 1393,3 | 49,0          |
| 1986 | 4935  | 135,8  | 78,4   | 1074,5 | 41,2          | 2016 | 7287  | 210,7  | 120,2  | 1399,5 | 49,0          |
| 1987 | 5021  | 138,6  | 80,1   | 1093,7 | 41,6          | 2017 | 7359  | 212,8  | 121,4  | 1405,7 | 49,0          |
| 1988 | 5108  | 141,3  | 81,8   | 1112,9 | 42,0          | 2018 | 7430  | 214,9  | 122,6  | 1411,9 | 49,0          |
| 1989 | 5195  | 144,0  | 83,4   | 1130,7 | 42,4          | 2019 | 7503  | 217,0  | 123,8  | 1418,1 | 49,0          |
| 1990 | 5283  | 146,6  | 84,9   | 1148,4 | 42,9          | 2020 | 7576  | 219,1  | 125,0  | 1424,3 | 49,0          |
| 1991 | 5367  | 149,1  | 86,5   | 1163,6 | 43,3          | 2021 | 7641  | 221,1  | 125,8  | 1427,7 | 49,0          |
| 1992 | 5451  | 151,5  | 88,1   | 1177,5 | 43,8          | 2022 | 7706  | 223,1  | 126,6  | 1431,1 | 49,0          |
| 1993 | 5533  | 154,0  | 89,7   | 1190,6 | 44,3          | 2023 | 7772  | 225,1  | 127,4  | 1434,5 | 49,0          |
| 1994 | 5613  | 156,4  | 91,3   | 1203,4 | 44,8          | 2024 | 7839  | 227,0  | 128,2  | 1437,9 | 49,0          |
| 1995 | 5694  | 158,9  | 92,9   | 1215,8 | 45,3          | 2025 | 7906  | 228,9  | 129,0  | 1441,3 | 49,0          |
| 1996 | 5773  | 161,3  | 94,4   | 1227,8 | 45,7          | 2026 | 7965  | 230,7  | 129,8  | 1442,3 | 49,0          |
| 1997 | 5852  | 163,8  | 95,9   | 1239,5 | 46,2          | 2027 | 8024  | 232,5  | 130,6  | 1443,3 | 49,0          |
| 1998 | 5930  | 166,3  | 97,3   | 1250,4 | 46,6          | 2028 | 8083  | 234,3  | 131,4  | 1444,3 | 49,0          |
| 1999 | 6006  | 168,8  | 98,6   | 1260,1 | 47,0          | 2029 | 8143  | 236,1  | 132,2  | 1445,3 | 49,0          |
| 2000 | 6082  | 171,3  | 99,9   | 1268,9 | 47,4          | 2030 | 8203  | 237,7  | 133,0  | 1446,3 | 49,0          |

Fonte dos Dados:

1) Mundo, México, China e Coréia do Sul, de **1971 a 2005**: Historical Population and Growth Rates in Population for Baseline Countries/Regions 1971-2005, Updated: 12/15/05, Source: Census Bureau of the U.S. Department of Commerce ([www.ers.usda.gov/data/macroconomics/Data/HistoricalPopulationValues.xls](http://www.ers.usda.gov/data/macroconomics/Data/HistoricalPopulationValues.xls))

2) Mundo, México, China e Coréia do Sul, de **2006 a 2030**: conforme taxas da tabela A14 do IEO 2006:

| Período        | Taxas de crescimento populacional (%) |             |             |               |
|----------------|---------------------------------------|-------------|-------------|---------------|
|                | Mundial                               | México      | China       | Coréia do Sul |
| <b>2006-10</b> | 1,18                                  | 1,25        | 0,74        | 0,15          |
| <b>2011-15</b> | 1,08                                  | 1,04        | 0,55        | 0             |
| <b>2016-20</b> | 0,98                                  | 0,99        | 0,44        | 0             |
| <b>2021-25</b> | 0,86                                  | 0,63        | 0,24        | 0             |
| <b>2026-30</b> | 0,74                                  | 0,61        | 0,07        | 0             |
| <b>média</b>   | <b>0,97</b>                           | <b>0,90</b> | <b>0,41</b> | <b>0,03</b>   |

3) Brasil, de **1971 a 1979**, dados de arquivo download/estatística/seculoxx/população1.zip e população2.zip; Brasil, de **1980 a 2030**, conforme os dados da Revisao\_2004\_Projecoes\_1980\_2050 ([ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas\\_Projecoes\\_Populacao/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Estimativas_Projecoes_Populacao/)) ([www.ibge.org.br](http://www.ibge.org.br)) (média 2006-30: **1,03%**)

**Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

**Tabela A2: PIB em milhões de dólares de 2000 (câmbio de mercado)**

| Ano  | Mundo | Brasil | México | China  | Coréia do Sul | Ano  | Mundo | Brasil | México | China  | Coréia do Sul |
|------|-------|--------|--------|--------|---------------|------|-------|--------|--------|--------|---------------|
| 1971 | 12892 | 193,2  | 185,0  | 107,7  | 66,8          | 2001 | 32181 | 609,6  | 580,6  | 1161,8 | 531,6         |
| 1972 | 13589 | 216,5  | 200,3  | 110,6  | 70,1          | 2002 | 32716 | 621,1  | 584,9  | 1258,2 | 568,6         |
| 1973 | 14432 | 246,8  | 216,0  | 119,4  | 78,7          | 2003 | 33609 | 619,9  | 592,5  | 1375,2 | 586,1         |
| 1974 | 14604 | 269,1  | 228,5  | 122,6  | 84,6          | 2004 | 34961 | 650,3  | 618,5  | 1514,1 | 609,5         |
| 1975 | 14749 | 283,1  | 241,6  | 131,2  | 90,1          | 2005 | 36101 | 673,7  | 642,0  | 1664,0 | 631,5         |
| 1976 | 15486 | 310,9  | 252,3  | 129,1  | 100,2         | 2006 | 37272 | 699,7  | 666,4  | 1792,1 | 664,3         |
| 1977 | 16089 | 325,2  | 260,8  | 136,3  | 110,2         | 2007 | 38497 | 726,7  | 691,8  | 1922,9 | 698,8         |
| 1978 | 16780 | 335,7  | 284,2  | 150,2  | 120,1         | 2008 | 39729 | 754,7  | 718,1  | 2063,3 | 734,5         |
| 1979 | 17453 | 358,4  | 311,8  | 161,2  | 128,6         | 2009 | 40991 | 783,8  | 745,3  | 2211,8 | 771,2         |
| 1980 | 17737 | 391,1  | 340,5  | 170,7  | 125,9         | 2010 | 42293 | 814,0  | 773,7  | 2368,9 | 809,0         |
| 1981 | 18064 | 373,9  | 370,4  | 180,6  | 134,1         | 2011 | 43622 | 842,0  | 803,1  | 2534,7 | 848,6         |
| 1982 | 18146 | 376,0  | 368,1  | 197,8  | 143,8         | 2012 | 44992 | 871,0  | 833,6  | 2712,1 | 890,2         |
| 1983 | 18681 | 363,2  | 352,6  | 219,3  | 159,1         | 2013 | 46410 | 901,0  | 865,3  | 2902,0 | 933,8         |
| 1984 | 19547 | 382,4  | 365,4  | 252,7  | 172,3         | 2014 | 47874 | 932,0  | 898,1  | 3105,1 | 979,6         |
| 1985 | 20213 | 412,7  | 374,9  | 284,5  | 183,4         | 2015 | 49374 | 964,0  | 932,3  | 3322,5 | 1027,6        |
| 1986 | 20874 | 445,7  | 360,8  | 308,9  | 203,5         | 2016 | 50933 | 996,5  | 967,7  | 3555,1 | 1077,9        |
| 1987 | 21636 | 461,8  | 367,5  | 343,4  | 225,9         | 2017 | 52257 | 1030,1 | 1007,4 | 3739,9 | 1108,1        |
| 1988 | 22609 | 461,3  | 372,1  | 380,0  | 249,5         | 2018 | 53616 | 1064,7 | 1048,7 | 3934,4 | 1139,2        |
| 1989 | 23436 | 476,4  | 387,7  | 395,7  | 264,7         | 2019 | 55010 | 1100,6 | 1091,7 | 4139,0 | 1171,1        |
| 1990 | 24072 | 455,9  | 407,3  | 411,5  | 288,5         | 2020 | 56440 | 1137,6 | 1136,4 | 4354,2 | 1203,8        |
| 1991 | 24403 | 461,9  | 424,5  | 449,3  | 315,1         | 2021 | 57907 | 1175,1 | 1183,0 | 4580,6 | 1237,5        |
| 1992 | 24909 | 459,5  | 439,9  | 513,4  | 332,2         | 2022 | 59413 | 1213,7 | 1231,5 | 4818,8 | 1272,2        |
| 1993 | 25343 | 482,1  | 448,5  | 582,9  | 350,5         | 2023 | 60958 | 1253,7 | 1282,0 | 5069,4 | 1307,8        |
| 1994 | 26170 | 510,5  | 468,3  | 657,6  | 379,4         | 2024 | 62542 | 1294,9 | 1334,6 | 5333,0 | 1344,4        |
| 1995 | 26882 | 538,4  | 446,5  | 726,9  | 413,2         | 2025 | 64169 | 1337,5 | 1389,3 | 5610,3 | 1382,1        |
| 1996 | 27808 | 553,0  | 469,5  | 796,6  | 442,2         | 2026 | 65837 | 1380,9 | 1446,3 | 5902,1 | 1420,8        |
| 1997 | 28829 | 571,2  | 501,2  | 866,7  | 462,7         | 2027 | 67549 | 1425,7 | 1505,6 | 6209,0 | 1460,6        |
| 1998 | 29527 | 571,8  | 525,8  | 934,3  | 431,0         | 2028 | 69305 | 1472,0 | 1567,3 | 6531,8 | 1501,5        |
| 1999 | 30443 | 576,4  | 545,5  | 1000,7 | 471,9         | 2029 | 71107 | 1519,8 | 1631,5 | 6871,5 | 1543,5        |
| 2000 | 31717 | 601,7  | 581,3  | 1080,7 | 511,9         | 2030 | 72956 | 1569,1 | 1698,4 | 7228,8 | 1586,7        |

Fonte dos Dados:

1) Mundo, Brasil, México, China e Coréia do Sul, de **1971 a 2016**: Real Historical Gross Domestic Product (GDP) and Growth Rates of GDP for Baseline Countries/Regions (in billions of 2000 dollars) 1971-2006, Updated: 4/20/06, e Real Historical and Projected Gross Domestic Product (GDP) and Growth Rates of GDP for Baseline Countries/Regions (in billions of 2000 dollars) 2000-2016, Updated: 4/20/06, Source: World Bank World Development Indicators, adjusted to 2000 base and estimated and projected values developed by the Economic Research Service ([www.ers.usda.gov/data/macro-economics/Data/HistoricalRealGDPValues.xls](http://www.ers.usda.gov/data/macro-economics/Data/HistoricalRealGDPValues.xls) e [ProjectedRealGDPValues.xls](http://www.ers.usda.gov/data/macro-economics/Data/ProjectedRealGDPValues.xls))

2) Mundo, México, China e Coréia do Sul, de **2017 a 2030** conforme taxas médias da projeção 2015-2030 da Tabela 2 do IEO-2006

| Taxas médias anuais de crescimento do PIB (%) |       |        |        |       |               |
|-----------------------------------------------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| Período                                       | Mundo | Brasil | México | China | Coréia do Sul |
| 2017-2030                                     | 2,6   | 3,3    | 4,1    | 5,2   | 2,8           |

3) Brasil, de **2006 a 2030** conforme Tabelas A3 (referência), B3 (alto) e C3 (baixo) do IEO-2006

| Período | Taxas médias anuais (%) |      |       | Período | Taxas médias anuais (%) |      |       |
|---------|-------------------------|------|-------|---------|-------------------------|------|-------|
|         | ref.                    | alto | baixo |         | ref.                    | alto | baixo |
| 2006-10 | 3,9                     | 4,6  | 3,1   | 2021-25 | 3,3                     | 4,3  | 2,3   |
| 2011-15 | 3,4                     | 4,4  | 2,4   | 2026-30 | 3,2                     | 4,2  | 2,3   |
| 2016-20 | 3,4                     | 4,4  | 2,4   | média   | 3,3                     | 4,4  | 2,5   |

**Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

**Tabela A3: Consumo de Energia Elétrica (bilhões de kWh)**

| Ano  | Mundo   | Brasil | México | China  | Coréia do Sul | Ano  | Mundo   | Brasil | México | China  | Coréia do Sul |
|------|---------|--------|--------|--------|---------------|------|---------|--------|--------|--------|---------------|
| 1980 | 7404,8  | 122,7  | 59,7   | 265,8  | 32,2          | 2006 | 16477,1 | 428,8  | 226,0  | 2079,3 | 349,9         |
| 1981 | 7494,7  | 126,2  | 68,4   | 273,7  | 34,8          | 2007 | 17084,6 | 449,9  | 237,8  | 2236,5 | 367,1         |
| 1982 | 7654,7  | 133,5  | 74,7   | 290,3  | 37,3          | 2008 | 17714,6 | 472,2  | 250,2  | 2405,6 | 385,2         |
| 1983 | 7964,5  | 143,9  | 76,2   | 311,6  | 42,3          | 2009 | 18367,7 | 495,5  | 263,3  | 2587,4 | 404,1         |
| 1984 | 8453,7  | 160,0  | 80,6   | 334,4  | 46,7          | 2010 | 19045,0 | 520,0  | 277,0  | 2783,0 | 424,0         |
| 1985 | 8793,1  | 173,5  | 86,6   | 364,4  | 50,4          | 2011 | 19548,5 | 536,9  | 289,3  | 2914,2 | 435,9         |
| 1986 | 9017,6  | 187,0  | 88,8   | 398,6  | 55,9          | 2012 | 20065,2 | 554,3  | 302,1  | 3051,6 | 448,2         |
| 1987 | 9430,0  | 192,7  | 95,3   | 440,7  | 63,7          | 2013 | 20595,7 | 572,3  | 315,4  | 3195,5 | 460,7         |
| 1988 | 9846,0  | 203,9  | 100,3  | 483,1  | 73,5          | 2014 | 21140,1 | 590,8  | 329,4  | 3346,2 | 473,7         |
| 1989 | 10289,5 | 212,3  | 108,1  | 518,2  | 81,8          | 2015 | 21699,0 | 610,0  | 344,0  | 3504,0 | 487,0         |
| 1990 | 10543,4 | 217,6  | 107,1  | 550,9  | 93,4          | 2016 | 22208,9 | 626,7  | 357,8  | 3642,9 | 496,1         |
| 1991 | 10757,2 | 225,3  | 110,5  | 600,9  | 103,0         | 2017 | 22730,7 | 643,8  | 372,2  | 3787,4 | 505,3         |
| 1992 | 10836,1 | 230,4  | 114,1  | 670,6  | 113,6         | 2018 | 23264,8 | 661,4  | 387,2  | 3937,6 | 514,7         |
| 1993 | 11077,6 | 241,1  | 119,2  | 744,1  | 125,5         | 2019 | 23811,5 | 679,4  | 402,8  | 4093,7 | 524,3         |
| 1994 | 11347,1 | 249,7  | 128,9  | 816,5  | 159,4         | 2020 | 24371,0 | 698,0  | 419,0  | 4256,0 | 534,0         |
| 1995 | 11750,9 | 264,7  | 133,7  | 883,9  | 176,5         | 2021 | 24899,9 | 714,4  | 433,4  | 4406,2 | 542,5         |
| 1996 | 12118,0 | 277,6  | 143,7  | 927,4  | 196,6         | 2022 | 25440,4 | 731,2  | 448,3  | 4561,7 | 551,2         |
| 1997 | 12436,2 | 294,6  | 156,0  | 987,0  | 214,5         | 2023 | 25992,5 | 748,4  | 463,6  | 4722,7 | 560,0         |
| 1998 | 12760,1 | 307,0  | 161,3  | 1018,9 | 210,1         | 2024 | 26556,6 | 766,0  | 479,5  | 4889,4 | 568,9         |
| 1999 | 13057,0 | 315,7  | 170,8  | 1080,3 | 207,4         | 2025 | 27133,0 | 784,0  | 496,0  | 5062,0 | 578,0         |
| 2000 | 13608,0 | 331,6  | 182,4  | 1200,6 | 231,7         | 2026 | 27705,0 | 800,7  | 510,7  | 5232,0 | 587,1         |
| 2001 | 13799,7 | 309,7  | 185,0  | 1302,3 | 247,3         | 2027 | 28289,0 | 817,7  | 525,8  | 5407,7 | 596,4         |
| 2002 | 14301,0 | 353,0  | 190,0  | 1452,0 | 268,0         | 2028 | 28885,3 | 835,1  | 541,4  | 5589,3 | 605,8         |
| 2003 | 14781,0 | 371,0  | 194,0  | 1671,0 | 303,0         | 2029 | 29494,3 | 852,9  | 557,5  | 5777,0 | 615,3         |
| 2004 | 15326,0 | 389,3  | 204,1  | 1797,3 | 317,9         | 2030 | 30116,0 | 871,0  | 574,0  | 5971,0 | 625,0         |
| 2005 | 15891,1 | 408,6  | 214,8  | 1933,2 | 333,5         |      |         |        |        |        |               |

Fonte dos Dados:

1) Mundo, México, China e Coréia do Sul, de **1980 a 2001**: World Total Net Electricity Consumption, 1980-2003, Energy Information Administration, International Energy Annual 2003, Table62.xls, Table Posted: June 24, 2005.

2) Brasil, de **1980 a 2001**, Dados Consolidados Tabela 1.9: Composição setorial do consumo de eletricidade (www.mme.gov.br)

3) Mundo, Brasil, México, China e Coréia do Sul, de **2002 a 2030**, Table A9. World Net Electricity Consumption by Region, Reference Case, 1990-2030, International Energy Outlook 2006, Report #: DOE/EIA-0484(2006), Released Date: June 2006, (www.eia.doe.gov):

| Período | Taxas médias anuais de crescimento do consumo de eletricidade (%) |            |            |            |               |
|---------|-------------------------------------------------------------------|------------|------------|------------|---------------|
|         | Mundo                                                             | Brasil     | México     | China      | Coréia do Sul |
| 2004-10 | 3,7                                                               | 4,9        | 5,2        | 7,6        | 4,9           |
| 2011-15 | 2,6                                                               | 3,2        | 4,4        | 4,7        | 2,8           |
| 2016-20 | 2,3                                                               | 2,7        | 4,0        | 4,0        | 1,9           |
| 2021-25 | 2,2                                                               | 2,4        | 3,4        | 3,5        | 1,6           |
| 2026-30 | 2,1                                                               | 2,1        | 3,0        | 3,4        | 1,6           |
| média   | <b>2,6</b>                                                        | <b>3,1</b> | <b>4,0</b> | <b>4,6</b> | <b>2,5</b>    |

**Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

**Tabela A4: PIB per capita em paridade do poder de compra (US\$ de 2000)**

| Ano  | Mundo | Brasil | México | China | Coréia do Sul | Ano  | Mundo | Brasil | México | China | Coréia do Sul |
|------|-------|--------|--------|-------|---------------|------|-------|--------|--------|-------|---------------|
| 1971 |       | 1247   | 1767   | 260   | 874           | 2001 | 7590  | 7678   | 9480   | 4041  | 14522         |
| 1972 |       | 1417   | 1919   | 275   | 957           | 2002 | 7779  | 7611   | 9250   | 4239  | 14106         |
| 1973 |       | 1665   | 2111   | 299   | 1125          | 2003 | 8046  | 7613   | 9385   | 4614  | 14532         |
| 1974 |       | 1878   | 2378   | 326   | 1232          | 2004 | 8300  | 7806   | 9631   | 4943  | 15179         |
| 1975 |       | 2148   | 2703   | 374   | 1436          | 2005 | 8562  | 8004   | 9883   | 5294  | 15855         |
| 1976 |       | 2449   | 2877   | 386   | 1740          | 2006 | 8833  | 8207   | 10142  | 5671  | 16561         |
| 1977 |       | 2681   | 3017   | 428   | 2029          | 2007 | 9112  | 8415   | 10408  | 6075  | 17299         |
| 1978 |       | 2860   | 3393   | 453   | 2316          | 2008 | 9400  | 8628   | 10681  | 6507  | 18069         |
| 1979 |       | 3207   | 3934   | 541   | 2615          | 2009 | 9697  | 8847   | 10961  | 6970  | 18874         |
| 1980 |       | 3687   | 4660   | 617   | 2640          | 2010 | 10004 | 9071   | 11248  | 7466  | 19714         |
| 1981 |       | 3794   | 5435   | 709   | 3040          | 2011 | 10275 | 9282   | 11599  | 7870  | 20519         |
| 1982 |       | 4018   | 5715   | 819   | 3536          | 2012 | 10554 | 9498   | 11961  | 8296  | 21357         |
| 1983 |       | 4042   | 5605   | 905   | 4039          | 2013 | 10841 | 9719   | 12335  | 8746  | 22229         |
| 1984 |       | 4383   | 5769   | 1047  | 4467          | 2014 | 11135 | 9945   | 12720  | 9219  | 23137         |
| 1985 |       | 4747   | 5886   | 1133  | 4882          | 2015 | 11437 | 10177  | 13118  | 9719  | 24082         |
| 1986 |       | 5061   | 5548   | 1232  | 5664          | 2016 | 11744 | 10422  | 13533  | 10199 | 24804         |
| 1987 |       | 5286   | 5796   | 1345  | 6513          | 2017 | 12060 | 10672  | 13961  | 10703 | 25549         |
| 1988 |       | 5435   | 5615   | 1420  | 7412          | 2018 | 12383 | 10929  | 14402  | 11232 | 26315         |
| 1989 |       | 5633   | 5966   | 1400  | 8006          | 2019 | 12715 | 11192  | 14858  | 11787 | 27105         |
| 1990 | 6397  | 5491   | 6453   | 1568  | 8839          | 2020 | 13057 | 11461  | 15328  | 12370 | 27918         |
| 1991 | 6491  | 5633   | 6769   | 1789  | 10019         | 2021 | 13405 | 11743  | 15861  | 12970 | 28661         |
| 1992 | 6586  | 5653   | 7062   | 2032  | 10600         | 2022 | 13763 | 12032  | 16413  | 13600 | 29424         |
| 1993 | 6683  | 5978   | 7234   | 2306  | 11350         | 2023 | 14130 | 12329  | 16984  | 14260 | 30207         |
| 1994 | 6781  | 6323   | 7572   | 2552  | 12396         | 2024 | 14507 | 12632  | 17575  | 14952 | 31011         |
| 1995 | 6880  | 6674   | 7028   | 2760  | 13547         | 2025 | 14894 | 12943  | 18186  | 15678 | 31837         |
| 1996 | 6981  | 6881   | 7344   | 2973  | 14320         | 2026 | 15313 | 13271  | 18816  | 16450 | 32673         |
| 1997 | 7084  | 7166   | 7862   | 3141  | 14704         | 2027 | 15743 | 13608  | 19469  | 17261 | 33532         |
| 1998 | 7188  | 7020   | 8142   | 3318  | 13622         | 2028 | 16185 | 13953  | 20143  | 18111 | 34413         |
| 1999 | 7293  | 7217   | 8498   | 3483  | 14529         | 2029 | 16640 | 14307  | 20842  | 19004 | 35317         |
| 2000 | 7400  | 7745   | 9711   | 3844  | 14937         | 2030 | 17107 | 14669  | 21564  | 19940 | 36245         |

Fonte dos Dados:

1) Mundo, de **1990 a 2030**, dados da Table A3. World Gross Domestic Product (GDP) by Region, Reference Case, 1990-2030, (Billion 2000 Dollars), e Table A14. World Population by Region, Reference Case, 1990-2030, (Millions), International Energy Outlook 2006, Report #: DOE/EIA-0484(2006), Released Date: June 2006. ([www.eia.doe.gov](http://www.eia.doe.gov))

2) Brasil, México, China e Coréia do Sul, de **1971 a 2000**, Alan Heston, Robert Summers and Bettina Aten, Penn World Table Version 6.1, Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP), October 2002. ([pwt61.xls](http://pwt61.xls), <http://pwt.econ.upenn.edu/downloads>)

3) Brasil, México, China e Coréia do Sul, de **2001 a 2030**, conforme IEO 2006 da EIA/DOE

| Período      | Taxas médias anuais de crescimento do PIB per capita (%) |            |            |            |               |
|--------------|----------------------------------------------------------|------------|------------|------------|---------------|
|              | Mundial                                                  | Brasil     | México     | China      | Coréia do Sul |
| 2004-10      | 3,2                                                      | 2,5        | 2,6        | 7,1        | 4,5           |
| 2011-15      | 2,7                                                      | 2,3        | 3,1        | 5,4        | 4,1           |
| 2016-20      | 2,7                                                      | 2,4        | 3,2        | 4,9        | 3,0           |
| 2021-25      | 2,7                                                      | 2,5        | 3,5        | 4,9        | 2,7           |
| 2026-30      | 2,8                                                      | 2,5        | 3,5        | 4,9        | 2,6           |
| <b>média</b> | <b>2,8</b>                                               | <b>2,5</b> | <b>3,2</b> | <b>5,4</b> | <b>3,4</b>    |

**Comissão Nacional de Energia Nuclear  
Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

**Tabela A5: PIB do Brasil em milhões de dólares de 2000 (câmbio de mercado) – Cenários da EIA/DOE e EPE/MME**

| Ano  | EIA/DOE |        |        | Ano  | EPE/MME |        |        |
|------|---------|--------|--------|------|---------|--------|--------|
|      | Ref.    | Alto   | Baixo  |      | Ref.    | Alto   | Baixo  |
| 2000 | 601,7   | 601,7  | 601,7  | 2000 | 601,7   | 601,7  | 601,7  |
| 2001 | 609,6   | 609,6  | 609,6  | 2001 | 609,6   | 609,6  | 609,6  |
| 2002 | 621,1   | 621,1  | 621,1  | 2002 | 621,1   | 621,1  | 621,1  |
| 2003 | 619,9   | 619,9  | 619,9  | 2003 | 619,9   | 619,9  | 619,9  |
| 2004 | 650,3   | 650,3  | 650,3  | 2004 | 650,3   | 650,3  | 650,3  |
| 2005 | 673,7   | 673,7  | 673,7  | 2005 | 673,7   | 673,7  | 673,7  |
| 2006 | 699,7   | 704,5  | 694,9  | 2006 | 694,6   | 695,9  | 691,2  |
| 2007 | 726,7   | 736,7  | 716,8  | 2007 | 716,1   | 718,9  | 709,2  |
| 2008 | 754,7   | 770,3  | 739,3  | 2008 | 738,3   | 742,6  | 727,6  |
| 2009 | 783,8   | 805,5  | 762,6  | 2009 | 761,2   | 767,1  | 746,5  |
| 2010 | 814,0   | 842,3  | 786,6  | 2010 | 784,8   | 792,4  | 765,9  |
| 2011 | 842,0   | 879,8  | 805,8  | 2011 | 813,8   | 830,5  | 777,4  |
| 2012 | 871,0   | 918,9  | 825,4  | 2012 | 843,9   | 870,3  | 789,1  |
| 2013 | 901,0   | 959,8  | 845,6  | 2013 | 875,1   | 912,1  | 800,9  |
| 2014 | 932,0   | 1002,5 | 866,2  | 2014 | 907,5   | 955,9  | 812,9  |
| 2015 | 964,0   | 1047,1 | 887,3  | 2015 | 941,1   | 1001,8 | 825,1  |
| 2016 | 996,5   | 1092,7 | 908,2  | 2016 | 975,9   | 1049,8 | 837,5  |
| 2017 | 1030,1  | 1140,4 | 929,7  | 2017 | 1012,0  | 1100,2 | 850,1  |
| 2018 | 1064,7  | 1190,1 | 951,6  | 2018 | 1049,5  | 1153,0 | 862,8  |
| 2019 | 1100,6  | 1242,0 | 974,1  | 2019 | 1088,3  | 1208,4 | 875,8  |
| 2020 | 1137,6  | 1296,1 | 997,1  | 2020 | 1128,6  | 1266,4 | 888,9  |
| 2021 | 1175,1  | 1351,8 | 1019,9 | 2021 | 1179,4  | 1338,6 | 911,1  |
| 2022 | 1213,7  | 1409,8 | 1043,3 | 2022 | 1232,4  | 1414,9 | 933,9  |
| 2023 | 1253,7  | 1470,3 | 1067,1 | 2023 | 1287,9  | 1495,5 | 957,2  |
| 2024 | 1294,9  | 1533,4 | 1091,6 | 2024 | 1345,9  | 1580,8 | 981,2  |
| 2025 | 1337,5  | 1599,2 | 1116,6 | 2025 | 1406,4  | 1670,9 | 1005,7 |
| 2026 | 1380,9  | 1667,1 | 1141,7 | 2026 | 1469,7  | 1766,1 | 1030,8 |
| 2027 | 1425,7  | 1737,8 | 1167,4 | 2027 | 1535,8  | 1866,8 | 1056,6 |
| 2028 | 1472,0  | 1811,6 | 1193,6 | 2028 | 1605,0  | 1973,2 | 1083,0 |
| 2029 | 1519,8  | 1888,4 | 1220,5 | 2029 | 1677,2  | 2085,7 | 1110,1 |
| 2030 | 1569,1  | 1968,5 | 1248,0 | 2030 | 1752,7  | 2204,5 | 1137,9 |

Fonte dos Dados: 1) Taxas do PIB dos cenários de referência, de alto e baixo crescimentos econômicos conforme IEO 2006 da EIA/DOE e PNE 2030 da EPE/MME

| Período | Taxas EIA/DOE (%) |      |       | Período | Taxas EPE/MME (%) |      |       |
|---------|-------------------|------|-------|---------|-------------------|------|-------|
|         | Ref.              | Alto | Baixo |         | Ref.              | Alto | Baixo |
| 2006-10 | 3,9               | 4,6  | 3,1   | 2001-10 | 3,1               | 3,3  | 2,6   |
| 2011-15 | 3,4               | 4,4  | 2,4   | 2011-20 | 3,7               | 4,8  | 1,5   |
| 2016-20 | 3,4               | 4,4  | 2,4   | 2021-30 | 4,5               | 5,7  | 2,5   |
| 2021-25 | 3,3               | 4,3  | 2,3   |         |                   |      |       |
| 2026-30 | 3,2               | 4,2  | 2,3   |         |                   |      |       |
| 2006-30 | 3,3               | 4,4  | 2,5   | 2006-30 | 3,9               | 4,9  | 2,1   |



**Comissão Nacional de Energia Nuclear**  
**Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear**

**Tabela A6: Consumo de Energia Elétrica (bilhões de kWh) – Cenários da EIA/DOE e EPE/MME**

| Ano  | EIA/DOE |        |       | EPE/MME |       |       |
|------|---------|--------|-------|---------|-------|-------|
|      | Ref.    | Alto   | Baixo | Ref.    | Alto  | Baixo |
| 2000 | 331,6   | 331,6  | 331,6 | 331,6   | 331,6 | 331,6 |
| 2001 | 309,7   | 309,7  | 309,7 | 309,7   | 309,7 | 309,7 |
| 2002 | 353,0   | 353,0  | 353,0 | 353,0   | 353,0 | 353,0 |
| 2003 | 371,0   | 371,0  | 371,0 | 371,0   | 371,0 | 371,0 |
| 2004 | 389,3   | 391,5  | 387,2 | 387,1   | 389,1 | 384,1 |
| 2005 | 408,6   | 413,2  | 404,0 | 403,9   | 408,2 | 397,7 |
| 2006 | 428,8   | 436,1  | 421,6 | 421,4   | 428,1 | 411,8 |
| 2007 | 449,9   | 460,2  | 440,0 | 439,7   | 449,0 | 426,4 |
| 2008 | 472,2   | 485,7  | 459,1 | 458,8   | 471,0 | 441,5 |
| 2009 | 495,5   | 512,6  | 479,1 | 478,7   | 494,0 | 457,1 |
| 2010 | 520,0   | 541,0  | 500,0 | 499,5   | 518,2 | 473,3 |
| 2011 | 536,9   | 563,3  | 512,0 | 521,2   | 543,5 | 490,1 |
| 2012 | 554,3   | 586,5  | 524,3 | 543,8   | 570,1 | 507,5 |
| 2013 | 572,3   | 610,7  | 536,9 | 567,4   | 597,9 | 525,4 |
| 2014 | 590,8   | 635,8  | 549,8 | 592,0   | 627,1 | 544,0 |
| 2015 | 610,0   | 662,0  | 563,0 | 617,7   | 657,8 | 563,3 |
| 2016 | 626,7   | 685,8  | 573,8 |         |       |       |
| 2017 | 643,8   | 710,5  | 584,8 |         |       |       |
| 2018 | 661,4   | 736,1  | 596,0 |         |       |       |
| 2019 | 679,4   | 762,6  | 607,4 |         |       |       |
| 2020 | 698,0   | 790,0  | 619,0 |         |       |       |
| 2021 | 714,4   | 815,1  | 629,3 |         |       |       |
| 2022 | 731,2   | 841,1  | 639,7 |         |       |       |
| 2023 | 748,4   | 867,9  | 650,3 |         |       |       |
| 2024 | 766,0   | 895,5  | 661,0 |         |       |       |
| 2025 | 784,0   | 924,0  | 672,0 |         |       |       |
| 2026 | 800,7   | 950,4  | 681,9 |         |       |       |
| 2027 | 817,7   | 977,6  | 692,0 |         |       |       |
| 2028 | 835,1   | 1005,6 | 702,2 |         |       |       |
| 2029 | 852,9   | 1034,4 | 712,5 |         |       |       |
| 2030 | 871,0   | 1064,0 | 723,0 |         |       |       |

Fonte dos Dados: 1) Taxas do consumo de eletricidade para os cenários de referência, de alto e baixo crescimentos econômicos conforme IEO 2006 da EIA/DOE e PDEE 2006-2015 da EPE/MME:

| Período | Taxas EIA/DOE (%) |      |       |
|---------|-------------------|------|-------|
|         | Ref.              | Alto | Baixo |
| 2003-10 | 4,9               | 5,5  | 4,4   |
| 2011-15 | 3,2               | 4,1  | 2,4   |
| 2016-20 | 2,7               | 3,6  | 1,9   |
| 2021-25 | 2,4               | 3,2  | 1,7   |
| 2026-30 | 2,1               | 2,9  | 1,5   |
| 2003-30 | 3,2               | 4,0  | 2,5   |

| Período | Taxas EPE/MME (%) |      |       |
|---------|-------------------|------|-------|
|         | Ref.              | Alto | Baixo |
| 2003-15 | 4,3               | 4,9  | 3,5   |

Os valores de consumo de 2003 da EIA/DOE e de 2015 do PDEE 2006-2015 constituem referenciais e determinam as taxas EPE/MME da tabela anterior:

| Ano  | Ref.  | Alto  | Baixo |
|------|-------|-------|-------|
| 2003 | 371,0 | 371,0 | 371,0 |
| 2015 | 617,7 | 657,8 | 563,3 |