

OS NOVOS PARADIGMAS DA ENERGIA NUCLEAR

MARCIO S. DIAS¹, JOÃO ROBERTO L. DE MATTOS², ELIZABETE JORDÃO³,
VANDERLEY DE VASCONCELOS⁴

¹ MSc.Tec.Nuclear, CDTN/CNEN, BHte, MG, tel (31)3499-3217, e-mail: marciod@cdtn.br,

² Dr. Eng. Química, CDTN/CNEN, BHte., MG, tel (31)3499-3206, e-mail: jrmattos@cdtn.br,

³ Dra. Eng. Química, FEQ/UNICAMP – CP: 6066 – CEP: 13083-970, Campinas, SP,

⁴Dr.Eng.Metalúrgica, CDTN/CNEN, BHte, MG, tel (31)3499-3338, e-mail: vasconv@cdtn.br

**Encontro Técnico-Científico da 6ª Ecolatina
18 a 21 de setembro de 2006 – Belo Horizonte - MG**

RESUMO: A energia nuclear está em processo de renascimento, produzido por duas necessidades correlacionadas: uma maior demanda de energia para sustentar o crescimento econômico mundial e a mitigação do aquecimento global, que resulta da queima dos combustíveis fósseis e emissão de gases de efeito estufa. Globalmente, a energia nuclear melhorou sua competitividade econômica em relação ao gás e ao carvão. Adicionalmente, os problemas de aquecimento global levaram ambientalistas proeminentes a repensarem suas oposições em relação à energia nuclear. A energia nuclear não é a única solução, mas terá uma contribuição importante pelo seu custo competitivo e uma vez que o público esteja convencido quanto à segurança na operação e na disposição do rejeito nuclear. Para o Brasil, notadamente para a região Nordeste, a energia nuclear é uma componente importante de uma estratégia para fornecer os recursos energéticos necessários ao desenvolvimento econômico, atuando de forma complementar ao potencial hídrico e reduzindo a dependência externa de combustíveis fósseis.

PALAVRAS-CHAVES: CONSUMO DE ENERGIA, VARIAÇÃO CLIMÁTICA, RENASCIMENTO NUCLEAR

NEW PARADIGMS FOR THE NUCLEAR POWER

ABSTRACT: Nuclear energy is undergoing a revival, driven by two coupled needs: the increasing demand for energy to support the economic growth worldwide and to mitigate global warming, driven by the emission of greenhouse gases from fossil fuel. Nuclear has globally improved its economic competitiveness over gas and coal. The global-warming issue has caused prominent environmentalists to rethink their opposition to nuclear power. Nuclear is not the only solution, but is an important part due to its cost competitiveness and once the public is convinced about safety on operation and on radioactive waste disposal. To Brazil, namely the Northeast region, nuclear energy is an important component of the energy supplying aiming at the economic development as well as to complement the hydropower potential and to reduce the external dependence on fossil fuels.

KEYWORDS: ENERGY CONSUMPTION, CLIMATE CHANGE, NUCLEAR REVIVAL

INTRODUÇÃO: No início deste século, as projeções e sustentabilidades dos consumos de fontes primárias de energia colocam os governantes face a um cenário sem precedentes na história da humanidade. As opções de fontes de energia, projetadas para sustentar o desenvolvimento econômico de um país, devem ser decididas em termos de componentes econômicas, ambientais e políticas, nos contextos local, nacional e internacional. Os paradigmas para a avaliação e decisão devem levar em consideração aspectos globais das alterações climáticas, dos compromissos com metas de impacto ambiental, instabilidades políticas regionais e vulnerabilidade econômica frente aos custos e escassez de combustíveis e de aceitação pública.

Neste trabalho são apresentadas as projeções de crescimento mundial do consumo de energia, em especial a energia elétrica, que, conforme avaliação do “International Energy Outlook” do EIA (EIA/DOE, 2005), ocorrerão no horizonte de 20 anos. São apontados os fatos, em especial as alterações climáticas, as evoluções de consumo de combustíveis e os desenvolvimentos tecnológicos que resultaram na revisão dos paradigmas das opções de energia, em especial, a energia nuclear. A proposição apresentada para o Brasil analisa e considera a revisão destes paradigmas.

AS ALTERAÇÕES NO CENÁRIO MUNDIAL

O Consumo Mundial de Energia: Conforme avaliação/2005 do EIA/DOE, o consumo mundial de energia, de 2002 a 2025, deverá crescer de 57% de acordo com a distribuição sumariada na Tabela 1.

Tabela 1: Projeções do consumo de 2002 a 2025 do EIA/DOE (2005)

Combustíveis	Unidades	2002	2025	anual (%)	Total (%)
Óleo	milhões de barris/dia	78,20	119,20	1,9	52,4
Gás Natural	trilhões de m ³	2,61	4,42	2,3	69,3
Carvão	milhões de toneladas	4,78	7,47	2,0	56,3
Nuclear	trilhões de kWh	2,56	3,27	1,1	27,7
Outros	10 ¹⁸ J	33,9	51,6	1,9	52,3
Total	10 ¹⁸ J	434,1	679,9	2,0	56,6
Eletricidade	bilhões de kWh	14275	26018	2,6	82,3
Emissão de CO ₂	milhões de toneladas	24409	38790	2,0	58,9
Óleo	(%)	42,2	40,6		
Gás Natural	(%)	20,5	22,1		
Carvão	(%)	37,3	37,3		

O crescimento de 41 milhões de barris/dia no petróleo equivale a 2 Golfos Pérsicos com a média de produção de 2003 (EIA/DOE, 2006, 1). 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. Entretanto, na avaliação/2006 do EIA/DOE (EIA/DOE, 2006, 2), os preços do petróleo e, por conseguinte, do gás natural não recuam mais. Este fato induz a reavaliação, por diversos países, da inserção do gás natural em suas matrizes energéticas. 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. Conforme banco de dados da IAEA (IAEA, 2006), a geração mundial de eletricidade em 2004 ficou distribuída em 40% tendo o carvão como fonte primária, 10% o óleo, 15% o gás, 19% a hidráulica e 16% a nuclear.

Em termos ambientais é preocupante o crescimento projetado para a emissão de CO₂ da Tabela 1. Na avaliação/2005 EIA/DOE, China e EUA foram responsáveis por 37% das emissões de CO₂ em 2002 e responderão por 42% das emissões em 2025. 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 parte, com o aumento da contribuição do carvão. Em termos do consumo de carvão, China e Índia responderão por 72% do aumento no consumo mundial de carvão até 2025. Evidentemente, China e EUA não ratificarão o protocolo de Quioto. Os resíduos da indústria nucleoeletrica são completamente confinados e selados, sendo, em termos de volume, extraordinariamente mais reduzidos que os dos combustíveis fósseis. Assim para produzir 1 MWe durante um ano são necessários:

Combustível	Resíduos Produzidos
2.500 t de carvão	5.000 t de CO ₂ , SO ₂ , cinzas e metais pesados libertados para a atmosfera
1.500 t de óleo combustível	4.800 t de CO ₂ , SO ₂ e outros
700 t de gás natural	2.400 t de CO ₂
25 kg de urânio enriquecido	23 kg de resíduos (apenas 1 kg de resíduos de alta atividade)

Fonte: (BARROS, 2006)

As fontes convencionais de energia lançam, para a atmosfera, toneladas de poluentes e a energia nuclear produz quantidades incomparavelmente menores que ficam confinadas e monitoradas e para as quais existem vários tipos de solução. As 443 centrais nucleares em operação no mundo geram 370.000 MWe (IAEA, 2006).

As Alterações Climáticas: Conforme John Ritch (RITCH, 2004), apesar de muita retórica e diplomacia, a taxa global de emissões de CO₂ continua a aumentar e alcançou, em 2004, 25 bilhões de toneladas/ano ou 800 t/s. Ao longo de 400.000 anos de história da Terra os níveis de CO₂ na atmosfera flutuaram entre 200 e 300 partes por milhão (ppm), mantendo uma correlação praticamente perfeita com a variação no entorno de 15° C da temperatura. Em consequência das atividades humanas na era industrial, estes níveis alcançam hoje cerca de 350 ppm. De acordo com James Lovelock (LOVELOCK, 2004), um valor limite entre 450 e 550 ppm estabelece a irreversibilidade para o processo de aquecimento global.

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. Independentemente destas variações climáticas serem resultantes das atividades humanas, ciclos naturais da Terra, ou uma conjunção de ambos, os danos são fatos que, com consequências socioeconômicas 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 opinião pública.

As Mudanças de Paradigmas da Energia Nuclear: A incorporação dos avanços tecnológicos na fase de construção já permite a redução dos custos de capital e, para diversos países, uma nova central nuclear tornou-se competitiva em relação às demais fontes térmicas. O combustível nuclear continua a ser o mais barato para as geradoras de eletricidade dos EUA (EIA/DOE, 2006, 2) e, com a expectativa de

atender o mercado interno e externo, a US Enrichment Company, USEC, pretende antecipar, para 2009, a operação das novas instalações de enriquecimento de urânio (NUCNET, 2006). A Figura 1 mostra a evolução dos custos de geração da eletricidade na Finlândia e as alternativas energéticas com as taxas relativas à emissão de CO₂ (TARJANNE, 2005). A construção de uma nova central nuclear foi a opção estabelecida em 2006 pelo governo finlandês (IAEA, 2006).

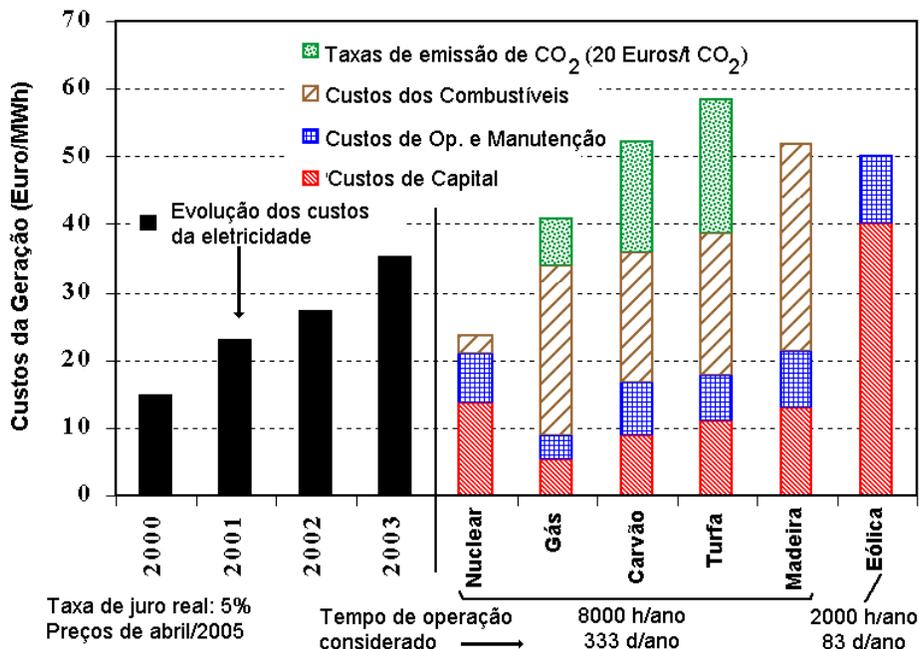


Figura 1: Evolução e partição do custo da energia elétrica na Finlândia

No contexto de evoluções e inovações tecnológicas, a energia nuclear já tem condições para a demonstração de tecnologias avançadas que permitirão, no curto prazo, realizar a transição para uma utilização estável, de longo prazo, ambiental, econômica e politicamente aceitável. Com a retirada de actínidos do combustível queimado, a redução da radiotoxicidade do rejeito do reator nuclear alcança os valores naturais da mina de urânio em cerca de 300 anos. Em repositórios geológicos, os actínidos são os responsáveis maiores pelos riscos radiológicos e carga térmica para além de 600 anos (MEYER, 2004). A reciclagem e queima de actínidos permite recuperar o valor energia presente no combustível nuclear queimado e ampliar sua vantagem econômica sobre as demais fontes primárias.

Em dezembro de 2005, a energia nuclear alcançou 12.000 reatores-ano de operação com dois acidentes graves ao longo de sua história. 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) “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.

Portanto, a mudança de paradigmas da energia nuclear baseia-se nos fatos da: 1) redução significativa dos custos de capital na implantação de novas centrais, 2) possível redução dos riscos radiotóxicos na armazenagem final do combustível queimado, 3) a experiência operacional acumulada e a competitividade da geração de energia das centrais nucleares existentes e 4) os danos socioeconômicos resultantes das alterações climáticas. Frente a percepção destes fatos novos, nomes insuspeitos do movimento ambientalista, como James Lovelock, pai da teoria Gaia, o próprio Patrick Moore, um dos fundadores do Greenpeace, Steward Brand, fundador do Whole Earth Catalog e o bispo inglês Hugh Montefiore, fundador e ex-diretor do Friends of the Earth (MOORE, 2006), reconhecem os benefícios ambientais da energia nuclear e a possível contribuição no futuro da humanidade.

AS OPÇÕES E DECISÕES PARA O BRASIL: As opções e decisões para a geração de eletricidade no Brasil devem considerar: 1) a vulnerabilidade, considerando aspectos econômicos externos bem como requisitos internacionais vinculados ao impacto ambiental, 2) a redução das diferenças socioeconômicas regionais e 3) as próprias características estratégicas regionais.

No contexto de duas publicações de MATTOS et al., (MATTOS, 2006), foram analisados os aspectos da correlação entre os desenvolvimentos econômico e energético do Brasil, da China, do México e da Coréia do Sul. A China e o Brasil são concorrentes diretos em commodities de exportação e, portanto, no mesmo espaço de desenvolvimento econômico. Até 2025, conforme análise/2005 do EIA/DOE, a China deverá ter o PIB per capita superior ao do Brasil. A China está investindo na diversificação da geração de energia, em particular, a nuclear para a geração de eletricidade.

A construção da usina nuclear Angra 3 insere-se, sob o aspecto da Matriz Energética Nacional, no contexto de diversificação das fontes primárias. O urânio é combustível de origem nacional e monopólio da União, com grandes reservas a baixo custo. Portanto, são mitigados os efeitos das flutuações no mercado internacional, os riscos e impactos de sua participação no custo futuro de geração.

Nas condições atuais de mercado, a construção da usina nuclear de Angra 3 poderá fornecer energia ao custo de R\$ 137,00/MWh, o que aproxima o preço da energia nuclear dos últimos preços registrados para a energia termelétrica leiloadada pelo governo. Adicionalmente, é uma fonte de geração que não contribui com emissões de CO₂, em consonância com os requisitos internacionais vinculados à questão ambiental. Na Tabela 2 são comparadas as opções térmicas nacionais.

Tabela 2: Opções térmicas nacionais (SILVA, 2006)

Combustível	Volatilidade de Preços	Emissão de CO₂	Oferta Nacional	Custo de Geração (R\$/MWh)
Carvão	Estável nacional	Sim muita	Limitada localizada	~ 145
Biomassa	Estável nacional	Não	Limitada localizada	~ 110 segue gás e carvão
Gás Natural	Volátil commodity	Sim pouca	Ampla requer transporte	~ 150
Petróleo	Volátil commodity	Sim muita	Ampla requer transporte	> 150
Nuclear Angra 3	Estável nacional	Não	Ampla transporte fácil	~ 137

Segundo o Presidente da Eletronuclear, OTHON L. P. DA SILVA (SILVA, 2006), existe um potencial de 13.000 MW nucleares a serem instalados nos próximos 30 anos (até 2035). Sua implementação pode ser conduzida com 10 usinas do porte de Angra 2 e 3 ou; 20 usinas do porte de Angra 1 ou; 13 usinas de 1000 MW. Do ponto de vista de cronograma, isto representa uma nova usina aproximadamente a cada três anos, localizada preferencialmente no NORDESTE, região com a maior carência de fontes primárias e, portanto, maior risco de déficit.

CONCLUSÕES: A energia nuclear está em processo de renascimento, produzido por duas necessidades correlacionadas: uma maior demanda de energia para sustentar o crescimento econômico mundial e a mitigação do aquecimento global. A energia nuclear não é a única solução, mas ela é uma parte importante pois contribui de forma eficaz na exploração de complementaridades das fontes de energia, o que deverá ser a tônica do futuro.

O Brasil necessita aumentar sua capacidade elétrica instalada, considerando-se aspectos de segurança de abastecimento, de diversidade e de complementaridade da Matriz Energética. Assim, é possível controlar a componente de custo da energia, independentemente das flutuações internacionais, e conferir maior competitividade aos produtos brasileiros, em particular frente a competidores emergentes como a China e a Índia. Especial atenção deve ser dada ao oferecimento de energia para o desenvolvimento da Região Nordeste, de modo a que esta região tenha uma maior participação na geração da riqueza nacional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARROS, P.M. “Energia Nuclear - Uma opção inevitável para Portugal”, 22 de fevereiro de 2006, <<http://www.ordemengenheiros.pt>. [consulta: março/2006].
- EIA/DOE, 2005 Energy Information Administration. “*International Energy Outlook – 2005*”, July 2005, (DOE/EIA-0484(2005)), <<http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/> [consulta: 06/02/2006]
- EIA/DOE, 1. EIA, <<http://www.eia.doe.gov/emeu/ipsr/t14.xls>, [consulta: 30/04/2006].
- EIA/DOE, 2. “Annual Energy Outlook – 2006”, February 2006, (DOE/EIA-0383(2006)), www.eia.doe.gov/oiaf/aeo/ [consulta: 20/03/2006].
- IAEA, Intern. Atomic Energy Agency, <http://www.iaea.org/DataCenter> [consulta: abril/2006].
- LOVELOCK, J. “Nuclear power is the only green solution”, *The Independent*, 24 May 2004, <<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, Set.-Out. 2004.
- MATTOS, J.R.L.; DIAS M.S.; JORDÃO, E.; VASCONCELOS, V. “Retomada da energia nuclear: opção estratégica e inovação tecnológica” e “Indecisão nuclear: prejuízo no passado e um risco para o futuro”, aceitos para apresentação no *XI Congresso Brasileiro de Energia*, Ago. 2006, RJ.
- MEYER, M.K. “Advanced Fuels”, *Big 10 Nuclear Engineering Workshop: Enabling our Energy Security through the Nuclear Fuel Cycle*, Argonne Nat.l Lab., USA, July 19, 2004.
- MOORE, P. “Going Nuclear – a green makes the case”, 16 April 2006, www.washingtonpost.com/wp/dyn/content/article/2006/04/14/AR200604140129.html.
- NUCNET “American centrifuge `on target` to begin enrichment in 2009” News nr 81. Nuclear Commun. Network, 26/04/2006, <<http://www.worldnuclear.org> [consulta: maio/2005].
- RITCH, J. “Preparing for the Coming Nuclear Century” In: Nuclear Industry Seminar: Nuclear Energy – A Hard Look at the Future. 19 Feb. 2004, Ontario, Canada. <<http://www.worldnuclear.org/dgspeeches/ontario2004pint.html> [consulta: fev./2006].
- SILVA, O.L.P. “Angra 3: Inserção no contexto do planejamento do sistema elétrico nacional”, Apresentada no Conselho das Empresas de Energia, Assoc. Com. do RJ, 04/2006.
- TARJANNE, R. “The Role of Nuclear Energy in Finland”. *Foratom Seminar at EU, Nuclear Energy: Meeting the Challenge of Climate Change*, Bruxelas, Oct. 2005.