

# A OPÇÃO NUCLEAR PARA CONTRIBUIR COM UMA PRODUÇÃO LIMPA E SUSTENTÁVEL DE ELETRICIDADE

LEONAM DOS SANTOS GUIMARÃES<sup>1</sup>

Capitão de Mar e Guerra (RM1-EN)

JOÃO ROBERTO LOUREIRO DE MATTOS<sup>2</sup>

Engenheiro

---

## SUMÁRIO

Introdução

A contribuição da energia nuclear no uso sustentável dos recursos naturais

Resíduos gerados

O combustível usado nas centrais não é resíduo ou lixo

Reservas de urânio e resistência à proliferação

Reservas de urânio

Resistência à proliferação

A opção nuclear no Brasil

Conclusões

## INTRODUÇÃO

Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD 2004), priorizar o acesso da população a serviços modernos de energia é um fator essencial para a aceleração do desenvolvimento econômico e social. O Objetivo de Desenvolvimento do Milênio das Nações Unidas, de erradicar a pobreza extrema e a

fome em 2015, não será atingido se o acesso à energia não melhorar substancialmente. O acesso e a quantidade absoluta de energia utilizada por habitante, especialmente a eletricidade, são fatores essenciais para o desenvolvimento humano e para delicada equação da sustentabilidade.

O desafio da inclusão é de magnitude e complexidade impressionantes: estudos do World Energy Outlook 2009 (WEO 2009)

---

1 Chefe de gabinete do presidente da Eletrobras Termonuclear S/A (Eletronuclear).

2 Engenheiro do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte.

indicam que, mesmo com o aumento crescente do uso da energia, muitos lares dos países em desenvolvimento não têm acesso aos serviços modernos de energia. Estimase que 1,4 bilhão de pessoas, ou mais de 20% da população mundial, não têm acesso à eletricidade, enquanto 2,7 bilhões – cerca de 40% da população mundial – ainda dependem do uso da biomassa de baixa eficiência para cozinhar. Trata-se de uma situação de longo prazo, pois as projeções da Agência Internacional de Energia (AIE) indicam que em 2030 ainda haverá 1,2 bilhão de pessoas sem acesso à eletricidade.

Paralelamente à questão da inclusão sobrepõe-se a questão climática. Segundo o World Energy Outlook 2008 (WEO 2008), a geração de eletricidade é responsável por 41% das emissões de gases de efeito estufa, com esta participação aumentado constantemente, evoluindo de 36% em 1990 para 39% em 2000, e, se a trajetória atual persistir, continuará a crescer, nas projeções da AIE, para 44% em 2020 e 45% em 2030. Uma correção de rumo é urgente para evitar o agravamento da questão ambiental. A geração elétrica está no centro da questão da inclusão social e do problema climático e é, portanto, uma componente fundamental para a solução dessa delicada equação.

A reunião de cúpula das Nações Unidas sobre as alterações climáticas realizada em dezembro de 2009, em Copenhague, representou um marco e um passo à frente; contudo, ficou muito aquém do que se necessita para lançar as bases de um sistema energético sustentável. O Acordo de Copenhague define um objetivo não vinculativo de limitar o aumento da tempe-

ratura global em dois graus Celsius (2° C) acima dos níveis da época pré-industrial. No WEO 2008, a AIE apresentou o Cenário 450, que estabelece uma via coerente com a meta de 2° C e a limitação da concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera em torno de 450 partes por milhão de gás carbônico equivalente (CO<sub>2</sub>e).

As perspectivas mundiais da energia até 2035 dependem de uma forma crítica das ações políticas governamentais e da maneira como essas ações afetarem a tecnologia, o preço dos serviços energéticos e o comportamento dos utilizadores finais. O World Energy Outlook 2010 (WEO 2010) reconhece importantes avanços políticos recentes e leva em con-

sideração os amplos compromissos políticos e os planos anunciados por vários países do mundo, incluindo promessas nacionais de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e os programas de abandono progressivo dos sub-

sídios às energias fósseis.

A demanda mundial de eletricidade deverá continuar a crescer mais solidamente do que qualquer outra forma final de energia. A geração de eletricidade está em transformação, à medida que o investimento é direcionado para tecnologias de baixo carbono, resultante do aumento dos preços dos combustíveis fósseis e de políticas governamentais de estímulo à segurança energética e à redução das emissões de CO<sub>2</sub>. Mesmo no cenário das novas políticas energéticas, os combustíveis fósseis – principalmente carvão e gás natural – continuam a dominar o mercado; contudo, a sua quota-parte na geração total de energia decresce de 68% em 2008 para 55% em

**A demanda mundial de eletricidade deverá continuar a crescer mais solidamente do que qualquer outra forma final de energia**

2035, enquanto as energias nuclear e renováveis se desenvolvem (WEO 2010).

A transição para as tecnologias com baixa emissão de carbono é particularmente acentuada nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). De um modo geral, o carvão continua a ser a principal fonte de geração elétrica em 2035, embora a sua quota-parte na geração de eletricidade baixe de 41% para 32%. O grande aumento da geração de carvão nos países não membros da OCDE é parcialmente compensado pela quebra verificada nos países da OCDE. A geração a gás aumenta em termos absolutos, principalmente nos países não OCDE, mas mantém uma quota estável na geração elétrica mundial, em torno de 21% durante o período considerado no WEO 2008. Segundo o WEO 2010, a quota-parte de energia nuclear na geração elétrica aumenta apenas marginalmente, com 360 GW adicionais em novas instalações durante o período considerado e um alargamento do período de vida de várias centrais. Em termos globais, prevê-se que a transição para as energias nuclear, renováveis e outras tecnologias com baixa emissão de carbono diminuirá em um terço a quantidade de CO<sub>2</sub> emitido por unidade de eletricidade gerada entre 2008 e 2035.

### **A CONTRIBUIÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR NO USO SUSTENTÁVEL DOS RECURSOS NATURAIS**

Além de gerar eletricidade em larga escala, os combustíveis fósseis servem para muitos outros usos mais nobres. Para produzir quantidade equivalente de eletricidade, são necessárias quantidades muito mai-

ores de carvão e dos demais combustíveis fósseis do que de urânio. A energia nuclear já vem reduzindo substancialmente o uso de combustíveis fósseis. Existem questões específicas associadas ao custo de oportunidade no uso de gás para gerar eletricidade na base de carga, quando se considera seu emprego no aquecimento direto e como combustível para motores de veículos.

Em alguns lugares do planeta, outro aspecto do uso de recursos naturais relaciona-se à questão da água potável. Usinas de queima de carvão, por razões de logística, são frequentemente construídas próximo às minas e, depois, resfriadas com água doce, utilizando torres de resfriamento

**A energia nuclear oferece uma tecnologia viável para, sem impacto ambiental destrutivo, energizar uma economia próspera**

evaporativo, o que necessita de grande quantidade de água. Com as usinas nucleares, não há nenhuma consideração de localização semelhante, e podem ser mais facilmente colocadas no litoral, utilizando água

do mar para resfriamento, sem evaporação. Na Austrália, um continente seco, uma mudança de carvão para nuclear poderia economizar água doce suficiente para abastecer uma cidade de 4 milhões de pessoas.

No futuro energético da humanidade, certamente as energias renováveis, como a solar, a eólica, a das marés e a geotérmica, têm um papel relevante a desempenhar, semelhante ao que a energia hídrica já vem desempenhando há muitos séculos. Também deve haver conservação de energia e maior eficiência energética. Mas nenhuma dessas ferramentas pode alterar o fato de que a energia nuclear oferece uma tecnologia viável para, sem impacto ambiental destrutivo, energizar uma economia próspera.

No cerne da equação da sustentabilidade planetária, está o parâmetro da densidade

de energia. A densidade de energia é, essencialmente, a quantidade de energia acumulada dentro de um determinado combustível (não tem, necessariamente, de tratar-se de um combustível, mas, no caso da produção de energia, o combustível é o método de armazenamento de energia empregado). A densidade de energia de um combustível indica também a quantidade de resíduos produzidos por unidade de geração de energia. Na medida em que esses conceitos são complementares, torna-se útil comparar diversas fontes comuns de produção de energia com base na densidade de energia e volume de resíduos produzidos.

Para produzir calor, tanto o carvão quanto o gás natural e o petróleo utilizam reações químicas resultantes da força de ligação dos elétrons que orbitam em torno do núcleo de um átomo. Os elétrons somam menos de 1% da massa atômica de um átomo, representando, portanto, menos do que 1% do potencial de energia armazenada no interior de um átomo. Com base nesse tipo de reação química, o carvão, o petróleo e o gás natural são convertidos de matéria em energia térmica, utilizando menos de 1% do potencial energético disponível.

A energia nuclear é gerada por uma reação de fissão que capta a energia potencial armazenada dentro do núcleo do átomo, o que representa mais de 99% da energia potencial armazenada. A diferença entre a fissão e uma reação química é absolutamente clara: a reação química usa menos de 1% e a fissão utiliza mais de 99% da massa do átomo para gerar energia térmica. Dado que Einstein nos provou – por meio da equação  $E = mc^2$  – que matéria e energia são intercambiáveis, é fácil deduzir que a reação que utiliza mais da massa de um átomo gerará mais energia no processo de transformação.

A Tab. 1 contém uma lista de diversas fontes de combustível e suas respectivas densidades energéticas. A densidade

energética pode ser calculada com base na massa ou no volume, dependendo da medida que faz mais sentido para cada situação. No caso da produção de energia, a densidade calculada por meio da massa é a medida apropriada, visto que a massa do combustível, e não o seu volume, constitui a medida de base para as necessidades de combustível de uma usina nuclear.

Em termos de densidade de energia, as diversas reações químicas em combustíveis são todas similares, desde o carvão (com 9 kWh/kg) até o propano (com 13,8 kWh/kg). Isso quer dizer que podemos manter aceso o bulbo de uma lâmpada de 100 watts por aproximadamente 90 horas (quase quatro dias) com 1 quilograma de carvão, ou mais de 140 horas (quase seis dias) com 1 quilograma de gás natural.

No outro lado do espectro, temos os combustíveis originados na reação por fissão, que começam com a menor densidade de energia (Urânio natural – 99,3% U-238; 0,7% U-235 – em um reator de água pesada) a 123.056 kWh por kg, e atingem a fissão não contaminada; até uma reação com 100% de U-235, que rende 24.513.889 kWh por kg. Isso quer dizer que a reação nuclear por fissão típica pode manter aceso o bulbo de uma lâmpada por 1.230.560 horas (durante 140 anos) utilizando um quilograma de urânio natural.

A menor estrutura de densidade de energia de reação por fissão é 13.631 vezes mais densa do que a do carvão. Isso contrasta com o fato de a estrutura mais densa de combustível que utiliza reação química (propano) ser somente 1,5 mais densa do que o carvão.

### *Resíduos gerados*

A densidade energética também mostra a quantidade de combustível que uma usina necessita para produzir uma determinada quantidade de eletricidade. Dado a den-

<b>Tipo de combustível</b>	<b>Densidade energética (kWh/kg)</b>	<b>Número de vezes mais denso do que o petróleo</b>
Fissão nuclear (100% U-235)	24.513.889	2.715.385
Urânio natural (99,3% U-238; 0,7% U-235) em um reator regenerador rápido	6.666.667	738.462
Urânio enriquecido (3,5% U-235) em um reator de água leve	960.000	106.338
Urânio natural (99,3% U-238, 0,7% U-235) em um reator de água leve	123.056	13.631
Propano LPG	13,8	1,5
Butano LPG	13,6	1,5
Gasolina	13,0	1,4
Combustível Diesel/Óleo para aquecimento residencial	12,7	1,4
Biodiesel	11,7	1,3
Carvão (Antracita)	9,0	1,0
Água a uma altura de represa de 100 m	0,0003	N/A

Tab. 1 – Densidade energética por fonte

sidade energética estar diretamente ligada à quantidade de combustível necessária, ela também está ligada à quantidade de resíduos produzidos. Quanto maior a densidade energética de um combustível, menor é a quantidade de combustível usado por uma usina. Sendo utilizada uma quantidade menor de combustível, necessariamente vai haver menos resíduos.

Um reator de água leve típico de 1.000 MWe irá gerar (direta e indiretamente) 200 a 350 m<sup>3</sup> de rejeitos de baixa e média atividade por ano. Descarregará também cerca de 20 m<sup>3</sup> (27 toneladas) de combustível utilizado por ano, o que corresponde a um volume de 75 m<sup>3</sup> de disposição final após o encapsulamento, se ele for tratado como rejeito. Sempre que o combustível usado é reprocessado, apenas 3 m<sup>3</sup> de rejeitos vitrificados (vidro) são produzidos, o que é equivalente a um volume de 28 m<sup>3</sup> de eliminação após a colocação em uma ampola de disposição.

Para efeito de comparação, uma central de geração elétrica a carvão de mesma potência produz uma média de 400 mil toneladas de cinzas e 8 milhões de toneladas de gases de efeito estufa. Hoje, as tecnologias para redução e diminuição do volume, bem como continuação de disseminação das boas práticas no âmbito da força de trabalho, têm contribuído para a minimização contínua dos rejeitos produzidos, um princípio que é fundamental na política de gestão de rejeitos da indústria nuclear. Enquanto os volumes de rejeitos nucleares produzidos são muito pequenos, a questão mais importante para a indústria nuclear é a gestão da sua natureza tóxica de uma forma que respeite o ambiente e não apresente nenhum perigo tanto para trabalhadores como para o público em geral.

Para garantir que nenhuma liberação ambiental significativa ocorra ao longo de dezenas de milhares de anos, barreiras múltiplas de disposição geológica são planeja-

das. Estas imobilizam e isolam os elementos radioativos dos rejeitos de alta atividade e de alguns rejeitos de média atividade para a biosfera. As principais barreiras são:

- Imobilização de rejeitos em uma matriz insolúvel como o vidro de borossilicato ou rocha sintética (as pastilhas de combustível de UO<sub>2</sub> já são uma cerâmica muito estável).

- Selá-los dentro de um recipiente resistente à corrosão, como o aço inoxidável.

- Colocar em uma estrutura subterrânea profunda de rocha estável.

- Envolvê-los em recipientes com um aterramento impermeável, tais como bentonita, se o repositório contiver água.

As novas tecnologias em consideração estão associadas ao desenvolvimento de reatores da Geração IV, compreendendo reatores rápidos e reatores incineradores de rejeitos, que visam: reduzir a quantida-

de e a toxicidade dos resíduos nucleares destinados à eliminação geológica; ampliar o uso eficaz e reduzir o custo da eliminação geológica; reduzir os estoques de plutônio; e, finalmente, recuperar a energia útil ainda presente no combustível usado das centrais nucleares comerciais (Guimarães & Mattos, 2011).

Essas tecnologias contemplam a recuperação de elementos do grupo dos actínídeos (plutônio, amerício e cúrio), que estão presentes no combustível usado dos reatores das centrais nucleares comerciais atualmente em funcionamento. Como mostrado na fig. 1, a toxicidade do combustível irradiado sem actínídeos atinge os valores do minério natural de urânio após um período de 300 anos. De maneira semelhante, também é reduzida a carga de calor que vem principalmente do decaimento radioativo dos actínídeos de longa vida.

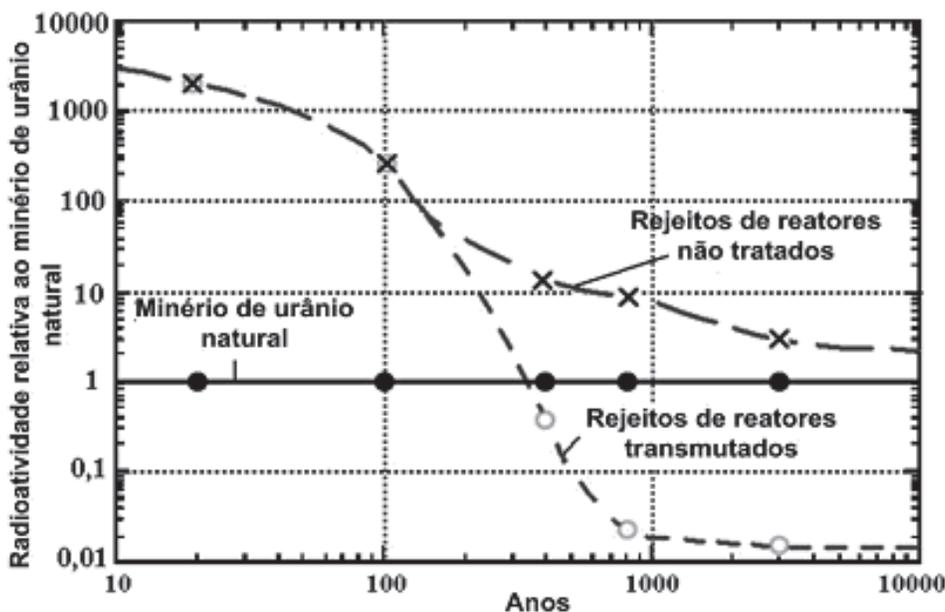


Fig. 1. Redução da radiotoxicidade dos combustíveis usados – Fonte: NE/DOE Advanced Fuel Cycle Initiative, 2006

## ***O combustível usado nas centrais não é resíduo ou lixo***

Qualquer combustível usado ainda contém parte do U-235 original<sup>1</sup>, bem como vários isótopos de plutônio que foram formados no interior do núcleo do reator, e o U<sub>238</sub>. No total, isso contabiliza 96% do urânio original e mais da metade do conteúdo energético original (não levando em conta o U<sub>238</sub>). O reprocessamento desenvolvido na Europa e na Rússia separa este urânio e plutônio dos rejeitos para que possam ser reciclados para reutilização em reatores nucleares. O plutônio decorrente do reprocessamento é reciclado numa fábrica de combustível MOX, onde é misturado com óxido de urânio para produzir combustível fresco. Reatores europeus utilizam atualmente mais de 5 toneladas de plutônio por ano em combustível MOX fresco.

## **RESERVAS DE URÂNIO E RESISTÊNCIA À PROLIFERAÇÃO**

### ***Reservas de urânio***

Existem recursos de urânio suficientes para suportar um crescimento significativo na capacidade de geração nucleoeletrica no longo prazo. Reservas identificadas são suficientes para mais de 80 anos, considerando as necessidades do ano de 2006 de 66.500 tU. Utilizando as taxas de utilização efetivas do ano 2006, a base de recursos identificados seria suficiente para cerca de cem anos de abastecimento dos reatores, sem levar em conta a poupança de urânio conseguido, por exemplo, no enriquecimento e na utilização de combustível MOX. A exploração de todas as reservas convencionais

aumentaria este prazo para cerca de 300 anos, embora a exploração e o desenvolvimento exijam significativos investimentos. Dado a indústria nuclear ser bastante recente e a limitada geografia mundial coberta na exploração de urânio, há um considerável potencial para a descoberta de novos recursos de interesse econômico. Para alcançar a sustentabilidade, o efeito combinado da exploração mineral e do desenvolvimento tecnológico deve criar recursos, pelo menos no mesmo ritmo que vão sendo consumidos (Guimarães & Mattos, 2010).

Para consolidar a sustentabilidade da opção nuclear no longo prazo, reatores de Geração IV estão sendo desenvolvidos para uso de combustíveis avançados, obtidos a partir da reciclagem dos combustíveis utilizados nos reatores atuais e aptos para atingir altas queimas. As estratégias de ciclo de combustível visam permitir a utilização eficiente dos recursos domésticos de urânio e minimizar desperdícios. Muitas inovações futuras incidirão em sistemas que utilizam nêutrons rápidos e que podem produzir mais material físsil, na forma de plutônio-239, do que é consumido. Nêutrons rápidos em reatores rápidos também habilitam estas instalações para serem utilizadas na transmutação de certos radioisótopos de longa duração, reduzindo a carga ambiental e a gestão de rejeitos radioativos de alto nível.

### ***Resistência à proliferação***

Desde 1970, o sistema de salvaguardas internacionais, com apoio de medidas diplomáticas e econômicas, impediu com sucesso o desvio de materiais físsis de uso em reatores comerciais para a fabricação de artefatos nucleares. O seu âmbito foi ampli-

<sup>1</sup> Combustível usado em reatores de água leve contém aproximadamente: 95,6% de urânio (menos de 1% é U-235), 2,9% produtos de fissão estáveis, 0,9% de plutônio, 0,3% de céscio e estrôncio (produtos de fissão), 0,1% de Iodo e tecnécio (produtos de fissão), 0,1% outros produtos de fissão longevos e 0,1% actínídeos menores (amerício, cúrio, netúnio).

ado para resolver atividades nucleares não declaradas. A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) empreende inspeções regulares nas instalações nucleares civis e audita a circulação de materiais nucleares, da mesma forma que os procedimentos de auditoria criam confiança na conduta financeira e impedem os desfalques. Seu objetivo específico é verificar se o material nuclear declarado (normalmente comercializado) permanece dentro do ciclo do combustível nuclear civil e se está sendo utilizado exclusivamente para fins pacíficos.

## A OPÇÃO NUCLEAR NO BRASIL

Em nosso planeta, 39% da energia elétrica são produzidos a partir da queima do carvão, 25% queimando gás ou óleo, 19% a partir de hidrelétricas, 16% nuclear e 1% pelas demais fontes. O Brasil se constitui honrosa exceção, pois nos últimos cinco anos cerca de 90% da eletricidade têm sido produzidos pela fonte hídrica, limpa, barata e renovável. Os cerca de 10% de complementação térmica requerida pelo sistema elétrico vêm sendo, na sua quase totalidade, garantidos pelas duas centrais nucleares nacionais, Angra 1 e Angra 2, e pelas termelétricas a gás, cujas contribuições são praticamente idênticas.

Nos últimos 60 anos houve grande transformação na sociedade brasileira. A população urbana, que representava apenas 20% dos brasileiros, passou a representar hoje cerca de 80%, com os decorrentes problemas de saneamento básico e transporte de massa, juntamente com a industrialização

crescente do País. Todas essas atividades são intensivas em consumo de eletricidade.

Embora todas as fontes primárias de energia devam concorrer na composição na matriz de geração de eletricidade, para a produção de grandes blocos de energia elétrica, a prevalência da fonte hídrica permanecerá pelas próximas décadas. A contribuição do carvão e da energia nuclear, entretanto, se tornará crescentemente necessária. Entretanto, o uso do carvão mineral tende a sofrer crescentes restrições políticas e econômicas, tendo em vista as preocupações ambientais globais com os efeitos das emissões de gás carbônico nas mudanças climáticas. Esse fato faz com que a energia nuclear tenda a ter sua contribuição ampliada.

O atendimento às restrições socioambientais fez com que o estoque de água nos reservatórios das hidroelétricas nacionais se mantivesse praticamente constante desde o início da década de 1990, o que

trouxe a necessidade de uma contribuição térmica para garantir o suprimento de eletricidade. No período 2002-2008, esta contribuição essencial oscilou entre 6,8% e 11,3%.

O consumo *per capita* de eletricidade no Brasil é de cerca de 2.000 kWh/ano, muito abaixo do patamar de 4.000 kWh/ano que caracteriza o consumo mínimo dos países desenvolvidos, com Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) igual ou superior a 0,9. Note-se que o IDH brasileiro é inferior a 0,8. Esse indicador nacional de 2.000 kWh/ano encontra-se abaixo da média mundial e é inferior a menos da metade dos indicadores equivalentes para países que recentemente ascenderam ao nível de

**O consumo *per capita* de eletricidade no Brasil é de cerca de 2.000 kWh/ano, muito abaixo do patamar de 4.000 kWh/ano que caracteriza o consumo mínimo dos países desenvolvidos**

desenvolvidos, como Portugal (4.500) e Espanha (5.600). Isso sem fazer comparações mais desfavoráveis, como Rússia (5.700), Coreia do Sul (6.400), França (7.200) e Japão (7.400).

Por outro lado, quando se compara o indicador do Brasil aos indicadores de China (1.300) e Índia (500), percebe-se a dimensão do desafio colocado a esses países, muito maior que o brasileiro, e a vantagem competitiva que temos em relação a eles.

Aproveitando todo o potencial hidroelétrico do País, para atingir o patamar de 4.000 kWh/ano, e o correspondente IDH 0,9, precisar-se-á complementar o sistema elétrico nacional com 15 usinas térmicas de 1.000 MW. Se almejarem-se níveis comparáveis aos da Espanha, seriam necessárias cerca de 60 usinas do mesmo porte, e se o nível da França for a meta, cerca de 101.

O ciclo de implantação de um empreendimento para gerar grande quantidade de energia elétrica é de seis a dez anos, quando se consideram os estudos e levantamentos preliminares necessários, projeto, licenciamento, construção e início de operação. Isso leva a concluir que, para o planejamento do sistema elétrico, dez anos é curto prazo, 30 anos é médio prazo, e o planejamento a longo prazo, considerando a possível exaustão de alguma fonte primária de energia e os efeitos das mudanças climáticas, deve ser de, no mínimo, 50 anos.

Admitindo-se que até o ano 2060 a população brasileira se estabilize em torno de 250 milhões de habitantes, para atingir o

mesmo padrão de consumo de energia elétrica e IDH da Espanha hoje precisar-se-á, portanto, criar a mesma capacidade nuclear que a França tem atualmente, construída no período 1970-1995. Para atingir os padrões da França atual, a expansão da capacidade nuclear necessária seria equivalente àquela que os Estados Unidos construíram entre as décadas de 1950 e 1990.

As grandes reservas de urânio nacionais, somadas ao domínio tecnológico do ciclo do combustível, permitem que tais desafios possam ser superados pelo Brasil com autossuficiência, sem criar dependência de fontes primárias importadas. Mais ainda, esses dois fatores permitem que o País atenda

às suas necessidades simultaneamente, tendo uma participação significativa no mercado internacional desse energético.

As características geológicas do solo nacional fazem crer que somente a Austrália, com cerca de 1 milhão de toneladas conhecidas, poderia nos superar em termos de reservas minerais de urânio. Às atuais 310 mil toneladas compro-

vadas, deverão se somar pelo menos 800 mil toneladas, hoje ainda especulativas, mas com grande possibilidade de serem confirmadas.

Essas reservas comprovadas equivalem a 238 anos de operação do gasoduto Bolívia-Brasil (25 milhões de metros cúbicos por dia) ou a 46 anos de abastecimento da Europa com gás proveniente da Rússia (130 milhões de metros cúbicos por dia), supondo que todo ele fosse utilizado para a geração elétrica.

**Quando se compara o indicador de Brasil aos indicadores de China (1.300) e Índia (500), percebe-se a dimensão do desafio colocado a esses países, muito maior que o brasileiro, e a vantagem competitiva que temos em relação a eles**

Se considerarmos adicionalmente as reservas brasileiras especulativas, elas seriam equivalentes a 164 anos de abastecimento da Europa com o gás russo.

Em termos de geração de recursos financeiros, a cotação da tonelada de urânio no mercado *spot* em 2010 tem variado em torno de US\$ 100 mil, valorando as reservas brasileiras comprovadas em mais de US\$ 30 bilhões. Considerando as reservas adicionais especulativas, esta valoração chegaria a mais de US\$ 100 bilhões.

Em termos de potencial energético, as reservas nacionais de urânio comprovadas equivalem a cerca de 7 bilhões de barris de petróleo. Se considerarmos também as reservas adicionais especulativas, essa equivalência seria de 25 bilhões de barris.

As estimativas das reservas de óleo do pré-sal divulgadas pela mídia variam de 19 bilhões de barris (campos de Tupi, Iara e Parque das Baleias) até 50 bilhões de barris. Verifica-se, portanto, que as reservas de urânio brasileiras têm dimensões muito significativas.

A dimensão das reservas nacionais de urânio e a provável liderança mundial do Brasil na posse desse valiosíssimo recur-

so mineral energético associada ao domínio tecnológico do seu processamento fazem-nos crer que seria do maior interesse nacional iniciar uma ampla discussão sobre sua exploração, similar àquela que hoje está em curso no País sobre as reservas de petróleo do pré-sal.

## CONCLUSÕES

Baseado nos princípios do desenvolvimento sustentável, as mais recentes análises de ciclo de vida das várias opções de geração elétrica não conseguem elaborar um cenário para os próximos 50 anos no qual não haja uma significativa participação da fonte nuclear para atender às demandas de geração

de energia concentrada, juntamente com as renováveis, para atender às necessidades dispersas.

A alternativa a isso seria exaurir os combustíveis fósseis, aumentando brutalmente a emissão de gases de efeito estufa, ou negar as aspirações de melhoria de qualidade de vida para bilhões de seres humanos. Ambas as alternativas implicam a transferência transgeracional de um passivo socioambiental inaceitável.

**Em termos de potencial energético, as reservas nacionais de urânio comprovadas equivalem a cerca de 7 bilhões de barris de petróleo**

📁 CLASSIFICAÇÃO PARA ÍNDICE REMISSIVO:

<CIÊNCIA & TECNOLOGIA>; Energia Nuclear; Energia Elétrica; Desenvolvimento; Recursos energéticos; Poder econômico;

## REFERÊNCIAS

- Agência Internacional de Energia (AIE). World Energy Outlook 2008. Paris. Disponível em: <http://www.iea.org/textbase/nppdf/free/2008/weo2008.pdf> Acesso em: 10 Set. 2009.
- Agência Internacional de Energia (AIE). World Energy Outlook 2009 – Key Graphs. Disponível em: [http://www.iea.org/country/graphs/weo\\_2009/fig2-10.jpg](http://www.iea.org/country/graphs/weo_2009/fig2-10.jpg) Acesso em: 10 Nov. 2009.
- Agência Internacional de Energia (AIE). *World Energy Outlook 2010 – Executive Summary*. Disponível em: [http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010\\_es\\_portuguese.pdf](http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2010/weo2010_es_portuguese.pdf) Acesso em: 02 Mar. 2011.
- Guimarães, L.S., Mattos, J.R.L. Energia Nuclear: Desmistificação e Desenvolvimento. In: Veiga, J.E. Energia Nuclear: do anátoma ao diálogo. São Paulo: Senac, 2011.
- Guimarães, L.S., Mattos, J.R.L., Energia Nuclear e Sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010.
- NE/DOE Advanced Fuel Cycle Initiative, Office of Nuclear Energy, Science and Technology. Jan. 2006. <http://www.gnep.gov/pdfs/AFCI.pdf> .
- Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) (2004), Relatório do Desenvolvimento Humano 2004. PNUD, Lisboa. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br/rdh/>>.