

Energia nuclear: desmistificação e desenvolvimento

Leonam dos Santos Guimarães
João Roberto Loureiro de Mattos

Introdução

A avaliação da magnitude das reservas energéticas renováveis e não renováveis nacionais traz grande otimismo face aos desafios do crescimento econômico e do desenvolvimento social sustentável do Brasil. Temos a convicção de que, com o devido aporte de planejamento, tecnologia e gestão adequadas, nosso país pode ser autossuficiente em energia por, no mínimo, mais de meio século, o que constitui grande fator de alavancagem e diferencial competitivo no concerto das nações.

A autossuficiência energética contribuirá para a manutenção de nossa vocação pacífica. A interpretação das notícias internacionais cotidianas nos indica que a busca da segurança energética pelos países, visando garantir o suprimento de insumos e fontes primárias, tem sido provavelmente o maior motivador de demonstrações de força, ameaças e conflitos internacionais, passados e atuais.

Em nosso planeta 39% da energia elétrica é produzida a partir da queima do carvão; 25% queimando gás ou óleo; 19% a partir de hidrelétricas; 16% de fonte nuclear; e 1% das demais fontes.

O Brasil constitui honrosa exceção, pois, nos últimos cinco anos, cerca de 90% da eletricidade tem sido produzida pela fonte hídrica, limpa, barata e renovável. Os cerca de 10% de complementação térmica (requerida pelo sistema elétrico) vem sendo, em sua quase totalidade, garantida pelas duas centrais nucleares nacionais, Angra 1 e Angra 2, e pelas termelétricas a gás, cujas contribuições são praticamente idênticas. Nos últimos 2 anos, já se verifica uma pequena porém crescente contribuição da biomassa. O recente leilão de energia de reserva da Aneel aponta também para uma crescente contribuição da fonte eólica no futuro.

Nos últimos 60 anos houve grande transformação na sociedade brasileira. A população urbana, que representava apenas 20% dos brasileiros, passa a representar, hoje, cerca de 80%, com os decorrentes problemas de saneamento básico e transporte de massa, juntamente com a crescente industrialização do país. Todas essas atividades são intensivas em consumo de eletricidade.

Embora o Brasil esteja em décimo lugar mundial na produção bruta de eletricidade, nosso consumo *per capita* nos coloca na nonagésima posição. Portanto, paralelamente aos programas de eficiência energética (como o Procel), que visam reduzir o consumo sem perda dos benefícios proporcionados pela eletricidade, temos de aumentar de forma significativa a oferta,

disponibilizando grandes blocos de energia para atender os inexoráveis crescimento econômico e desenvolvimento social.

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

As grandes reservas brasileiras de urânio, o domínio tecnológico que o país tem sobre o ciclo do combustível nuclear e as preocupações com as mudanças climáticas globais, exacerbadas pelos limitados resultados da recente Conferência COP-15, são fortes motivações para uma discussão serena, objetiva e não ideológica da geração elétrica nuclear.

Nestes últimos sessenta anos de transformação econômica e social, o Brasil construiu um formidável conjunto de hidrelétricas, elevando de cerca de 2 mil para mais de 90 mil megawatts a capacidade de geração instalada. A maior parte desse grande aumento de capacidade foi construído em regiões do país onde a topografia era favorável à construção de hidrelétricas dotadas de grandes reservatórios, e que já haviam sofrido desmatamento em virtude de algum ciclo agropecuário passado (café, cana, gado, por exemplo). Tais condições especiais minimizaram o impacto ambiental da implantação desse grande sistema renovável de geração de eletricidade.

A avaliação do potencial hidráulico remanescente indica que, de forma otimista, poderíamos ainda dobrar a capacidade hidrelétrica instalada, tratando com muita seriedade e racionalidade a questão socioambiental.

O atendimento às restrições socioambientais fez com que, desde o início da década de 1990, o estoque de água nos reservatórios das hidrelétricas nacionais tenha se mantido praticamente constante, o que trouxe a necessidade de uma contribuição térmica para garantir o suprimento de eletricidade. No período 2002-2008, essa contribuição essencial oscilou entre 6,8% e 11,3%.

Nas condições econômicas atuais, para gerar com energia firme na base do sistema, as termelétricas que produzem eletricidade a menor preço são as nucleares, seguidas das que queimam carvão mineral.

O consumo *per capita* de eletricidade no Brasil é de cerca de 2 mil kWh/ano, muito abaixo do patamar de 4 mil 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 mil 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 *desenvolvido*, como Portugal (4,5 mil) e Espanha (5,6 mil). Isso sem fazer comparações mais desfavoráveis, como Rússia (5,7 mil), Coreia do Sul (6,4 mil), França (7,2 mil) e Japão (7,4 mil).

Por outro lado, quando se compara nosso indicador aos de China (1,3 mil) e Índia (0,5 mil), 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 nosso potencial hidrelétrico, para atingir o patamar de 4 mil kWh/ano (e o correspondente IDH 0,9), precisaremos complementar o sistema elétrico nacional com 15 usinas térmicas de 1 mil MW. Se almejarmos níveis comparáveis aos da Espanha, seriam necessárias cerca de 60 usinas do mesmo porte, e se a meta for o nível da França, cerca de 101.

O ciclo de implantação de um empreendimento para gerar grande quantidade de energia elétrica é de seis a dez anos, ao considerarem-se os necessários estudos e levantamentos preliminares, além de itens como projeto, licenciamento, construção e início de operação. Isto nos leva a concluir que, para o planejamento do sistema elétrico, dez anos é curto prazo; trinta anos é médio prazo; e o planejamento em longo prazo – considerando a possível exaustão de alguma fonte primária de energia e os efeitos das mudanças climáticas – deva ser de, no mínimo, cinquenta anos.

Admitindo-se que, até o ano 2060, a população brasileira estabilize-se em torno de 250 milhões de habitantes, para atingir o mesmo padrão de consumo de energia elétrica e IDH da Espanha hoje, precisaremos, portanto, construir a mesma capacidade nuclear que a França tem atualmente, construída no período 1970-1995. Para atingir os padrões da França atual, a expansão necessária da capacidade nuclear 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 simultaneamente às suas necessidades e tenha 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 de reservas conhecidas, poderia nos superar em termos de

reservas minerais de urânio. Às atuais 310 mil toneladas comprovadas, devem somar-se pelo menos 800 mil toneladas adicionais, 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.

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* do dia 4 de janeiro de 2010 era de US\$ 99 mil, valorando em mais de US\$ 30 bilhões as reservas brasileiras comprovadas. Considerando as reservas adicionais especulativas, tal 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 de 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 recurso mineral energético, associadas 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.

Inicialmente, essa discussão deve estabelecer diretrizes para a expansão do parque de geração nuclear brasileiro no longo prazo, incluindo o Plano Decenal de Energia e o Plano Nacional de Energia. Definidas essas necessidades, vai ser possível passar à discussão do uso das reservas de urânio nacionais, estabelecendo-se modalidades adequadas de exploração, que permitam, também em longo prazo, garantir a autossuficiência e o retorno social sustentável dessa atividade econômica.

O maior desafio da história humana

A saga da humanidade está repleta de conflitos entre pessoas de diferentes nacionalidades, ideologias e crenças religiosas. As consequências desses conflitos são

conhecidas por todos. Porém, atualmente, enfrentamos um conflito ainda mais assustador em termos de perigos e escalas, um desafio diferente de qualquer outro antes enfrentado pela humanidade em qualquer era. Trata-se, no sentido mais verdadeiro da frase, de um conflito existencial – entre o padrão atual de comportamento da humanidade e todo o ambiente planetário que possibilitou o desenvolvimento da civilização.

Entre hoje e 2050, enquanto a população mundial vai passar de 6,6 bilhões para 9 bilhões, a humanidade há de consumir mais energia do que o total utilizado em toda a história passada. Segundo os padrões predominantes de uso de energia, os resultados vão mostrar-se calamitosos. A poluição resultante certamente vai danificar ou acabar com a saúde de centenas de milhões de cidadãos, principalmente nos países em desenvolvimento. Muito pior, nos padrões atuais, a concentração intensificada de gases de efeito estufa vai chegar a um ponto sem retorno, em direção a uma catástrofe climática.

A atmosfera

Atualmente a economia mundial está produzindo emissões de efeito estufa em um nível de 29 bilhões de toneladas por ano – por volta de 900 toneladas por segundo –, nível ainda em crescimento, apesar de negociações retóricas. Na tarefa que enfrentamos, o insuficiente e muito difamado Protocolo de Kyoto, mesmo se for implementado, representaria muito pouco. Uma maioria esmagadora de cientistas do clima, e uma crescente parte dos líderes políticos mundiais, concorda que devemos, até o meio do século, cortar as emissões de efeito estufa em 60%, mesmo se o consumo de energia mundial triplicar. Na transparência e urgência desse desafio, enfrentamos nada menos do que uma emergência global.

Para todos nós, mesmo aqueles mais determinados a enfrentar a realidade, por simples razões de instinto humano, essa crise vai contra o senso comum. Quando olhamos para cima, mesmo à luz do dia ou sob as estrelas, é natural ver o céu como uma expansão ilimitada. Na realidade, nossa atmosfera só representa uma fina camada na superfície da Terra. No total, a atmosfera alcança 560 km de altitude. Mas a maior parte da atmosfera – mais de 99% de suas moléculas – está concentrada bem mais abaixo, na troposfera e na estratosfera, em não mais do que 48 km de altura. A biosfera é ainda mais fina, com somente 10 km de largura.

Pegue uma bola de futebol comum e cubra-a com algumas camadas de verniz: a espessura desse envoltório pode representar a biosfera. Aplique algumas camadas mais, e a espessura vai representar a maior parte da atmosfera sobre nós, incluindo a capa de gases de efeito estufa. Essa fina casca de atmosfera é, de fato, uma lata de lixo muito pequena, levando em conta os volumes maciços de resíduos fósseis que continuamente despejamos aí.

Essa crise planetária não pode mais ser uma questão de negação psicológica ou política. Porque – agora, e com cada vez mais certeza – os nossos melhores cientistas do sistema terrestre alertam: as emissões de gás de efeito estufa, se continuarem na atual proporção maciça, vão produzir consequências que são – quase literalmente – apocalípticas: aumento radical das mudanças de temperatura, uma onda mundial de eventos meteorológicos violentos, secas generalizadas, inundações, queimadas, fome, extinções de espécies, aumento do nível dos oceanos, migrações maciças e doenças epidêmicas que não deixarão países ilesos.¹

Mudanças de Climáticas Catastróficas

- Mudanças radicais de temperatura e eventos meteorológicos violentos
- Secas generalizadas, inundações, queimadas
- Fome
- Aceleração da perda da biodiversidade
- Aumento do nível dos oceanos e mudanças repentinas nas correntes oceânicas
- Migrações maciças e epidemias de pestilências e doenças
- Consequentemente, uma ruptura fundamental da civilização humana

Qualquer um que ainda questione a ciência, deveria ler *A vingança de Gaia* (Lovelock, 2008), um livro de James Lovelock, pai da conhecida e amplamente respeitada Teoria de Gaia e um dos mais reverenciados “Cientistas da Terra”. James Lovelock é lúcido na explicação de mecanismos de *feedback* que, normalmente, tendem a manter-se estáveis na biosfera, mas que, uma vez ultrapassados certos limites, podem fazer com que nossas condições terrestres cheguem a desequilíbrios extremos e catastróficos.

Precisamente por enfrentarmos perigos que vão muito além do que podemos imediatamente imaginar, o espectro do aquecimento global ainda permanece, para grande número de pessoas, muito nebuloso. Mas o que não é nebuloso é a condição humana que está por trás do aquecimento global. Permitam-nos apresentar certos fatos bem conhecidos, verdades básicas que não estão em discussão. Por mais familiares que elas sejam, tais realidades não são menos chocantes em seu significado. Na crise global que enfrentamos, elas ressaltam as dimensões humanas envolvidas.

As dimensões humanas e a crise ambiental

Essa crise surge não do mal humano, mas do sucesso humano: a humanidade está acumulando, acelerando o sucesso, ao adquirir, disseminar, e aplicar, conhecimento baseado na ciência. É esse sucesso – que ganha forma na agricultura, na indústria, no comércio, e na

¹ Agência Internacional de Energia, *World Energy Outlook 2008*, p. 412.

medicina – que trouxe crescimento para a população e ameaça crescente ao nosso ambiente. Observado pelos olhos da história, esse sucesso veio como uma explosão repentina.

População mundial

Praticamente – durante todos os cinquenta mil anos desde que os primeiros humanos apareceram –, a população mundial nunca excedeu 10 milhões. Então, em algum ponto nos últimos dois mil anos, alguma coisa ocorreu. Utilizando uma frase da ciência nuclear, a inventividade humana alcançou uma massa crítica, e um avanço levou a outro com uma velocidade crescente.

Nos últimos dois mil anos, esses ganhos em conhecimento trouxeram iluminação e prosperidade para centenas de milhões de pessoas. Mas o aumento da população mundial também trouxe uma consequência. Antes, os efeitos da humanidade nos ecossistemas da terra eram como os de uma mosca em um camelo – totalmente inconsequente. Porém, no período de tempo retratado aqui, somente nos 200 anos que chamamos de Era Industrial, a humanidade passou a influenciar os mecanismos fundamentais da Terra. Agora esse impacto – antropogênico – ameaça destruir as mesmas condições ambientais que permitiram o sucesso do homem.

O crescimento da humanidade nos últimos dois milênios conheceu de fato um aumento espetacular. Levou cinquenta mil anos para que a população chegasse a um bilhão, um pouco mais de um século para chegar a dois bilhões, 33 anos para chegar a três bilhões, 14 anos para chegar a quatro bilhões, 13 anos para chegar a cinco bilhões, 12 anos para chegar a seis bilhões. Hoje estamos em 6,6 bilhões de pessoas e nove bilhões estão projetados para 2050.

Observar essa população com lentes econômicas nos ajuda a descrever a condição humana. O que encontramos é um mundo de extremos. De um lado da escala, estão os países da OECD,² onde toda a prosperidade está centralizada. Essas nações ricas representam simplesmente um sexto da humanidade. Do outro lado estão os pobres do mundo. Aqui, um número igual de pessoas – 1,1 bilhão – vive na pobreza, com fome constante, sem água limpa, com quase nenhuma renda ou perspectiva de melhora, e uma criança morre a cada 3 segundos.

De volta à parte rica do espectro, se acrescentarmos uma população de 300 milhões semiprósprios do antigo bloco soviético, constatamos que 1,4 bilhão de pessoas no mundo – somente 20% – representam 80% do consumo econômico global. Isso significa que 80% da população mundial subsistem com somente 20% da produção mundial de bens e serviços.

Os 80% da humanidade nos países pobres e em desenvolvimento continuam a crescer. A taxa é de 20 mil por dia. Imagine, por mês, o nascimento de uma nova cidade de 6 milhões de

² Organization for Economic Co-operation and Development.

peessoas. Nosso problema não é encolher; é piorar a cada dia que passa.

A Terra e a Humanidade

- O Universo surgiu entre 12-15 bilhões de anos atrás
- A vida na Terra começou há cerca de 4 bilhões de anos
- Os hominídeos apareceram há 7 milhões de anos
- O *Homo erectus* dominou o fogo há 400 mil anos
- O *Homo sapiens* desenvolveu-se a 50 mil-100 mil anos
- Contando tudo, cerca de 60-100 bilhões de pessoas viveram e morreram na Terra
- Durante a maior parte da história da humanidade, a população global não excedeu 10 milhões

O 1,1 bilhão mais pobre está categorizado como vivendo em pobreza “extrema”. Outro 1,6 bilhão está classificado como vivendo em pobreza “moderada” – apenas um pequeno passo acima da miséria abjeta. Com saneamento praticamente inexistente e quase nada de dinheiro. Eles sobrevivem entre poluição e doenças.

A dimensão energética da pobreza é fundamental. A pobreza está intensamente associada à ausência de eletricidade, e o acesso à energia elétrica é o melhor indicador do padrão de vida de uma pessoa. No mundo de hoje, com 6,6 bilhões de pessoas, 2 bilhões não contam com eletricidade, e mais 2 bilhões têm acesso somente limitado a ela. Em outras palavras, menos de 40% das pessoas do mundo podem, facilmente, acender as luzes.³

Os números, na mesma escala, são aplicados à água limpa. Atualmente, os lençóis freáticos do mundo estão diminuindo, em função da demanda de consumo humano em expansão. Enquanto surge essa crise, podemos esperar o crescimento da falta de fontes de água potável, o que produz sede, doenças, e guerras de água – em outras palavras, uma combinação mortal de sofrimento e conflitos humanos. Como remédio, temos uma ferramenta disponível: larga escala de dessalinização de água do mar, um processo intensivo de energia que só vai agravar a demanda de energia global.

Temos, enfim, uma grande massa de humanidade situada entre a pobreza e a prosperidade. Essa população, pronta para avançar, será o motor do nosso futuro desenvolvimento econômico mundial.

Em termos de uso futuro de energia, a condição humana nos divide em três categorias: aqueles com acesso à energia, que vão continuar a utilizá-la; aqueles com nenhum acesso, que a

³ Agência Internacional de Energia, *World Energy Outlook 2009. Key Graphs*, disponível em http://www.iea.org/country/graphs/weo_2009/fig2-10.jpg, acesso em 10-11-2009.

necessitam desesperadamente; e aqueles que estão entre os dois grupos, cuja unidade para o progresso econômico está produzindo uma expansão do uso de energia e, com isso, intensificando o fluxo de emissões de efeito estufa.

O impacto ambiental desse grupo central não pode ser exagerado. Em menos de 10 anos, as emissões de gases de efeito estufa de nações em desenvolvimento vão igualar as emissões dos países que podemos chamar de desenvolvidos. Depois disso, as emissões do mundo em desenvolvimento serão o maior condutor da mudança climática mundial.

Somente esse fato sublinha a magnitude, a urgência, e a natureza do desafio que enfrentamos. Isto deveria deixar claro – para todos, mas, sobretudo, para os ideólogos mais comprometidos – que, embora a conservação de energia, moinhos de vento, e painéis solares possam ajudar, nós não podemos contar somente com tais medidas para suprir o nosso crescente apetite mundial por mais energia.

A necessidade de energia nuclear: um imperativo global e ambiental

Depois de avaliar a realidade humana e ambiental ao seu redor, os líderes nacionais reconhecem que a energia nuclear representa hoje nada menos do que uma vantagem indispensável se o nosso mundo quiser enfrentar o que deve ser considerado como o maior desafio na história da humanidade.

Nosso ponto de partida para a ação é a concordância com a premissa básica que emerge de todas as análises oficiais: a raça humana não pode alcançar uma revolução global de energia limpa sem uma imensa expansão de energia nuclear – para gerar eletricidade, para produzir bateria de energia e talvez hidrogênio para os veículos de amanhã, e para dessalinizar água do mar como resposta à crise mundial por água fresca que está emergindo rapidamente.

O que devemos julgar como “análise oficial” inclui o trabalho feito pela Agência Internacional de Energia no setor intergovernamental e no Conselho de Energia Mundial no setor privado. Ambas as organizações julgam que a energia nuclear deve ter um papel fundamental em qualquer revolução de energia limpa.

De 1980 a 2006, a demanda de energia primária total cresceu 62%; e, para 2030, a projeção é de crescimento em uma taxa ligeiramente menor (45%, média de 1,6% ao ano, de 491 EJ⁴ para 712 EJ). O crescimento da eletricidade é ainda maior, e a projeção é que, de 2006 para 2030, praticamente dobre (crescendo em média 2,6% ao ano, de 18 921 TWh para 33 265 TWh).

⁴ No Sistema Internacional de Medidas o prefixo E (exa) representa um fator de 10^{18} . Então 1 EJ = 1 exaJoule = 10^{18} Joules. Joule é um trabalho realizado por uma força de 1 newton ao produzir um deslocamento de 1 metro (a força gravitacional que atua sobre 1 quilo é 9,8 newton).

O aumento da demanda é mais dramático em países em desenvolvimento e há uma projeção de aumento como mostra a Figura 1. Atualmente, cerca de dois bilhões de pessoas não possuem acesso à eletricidade, e atender essa carência é uma grande prioridade.

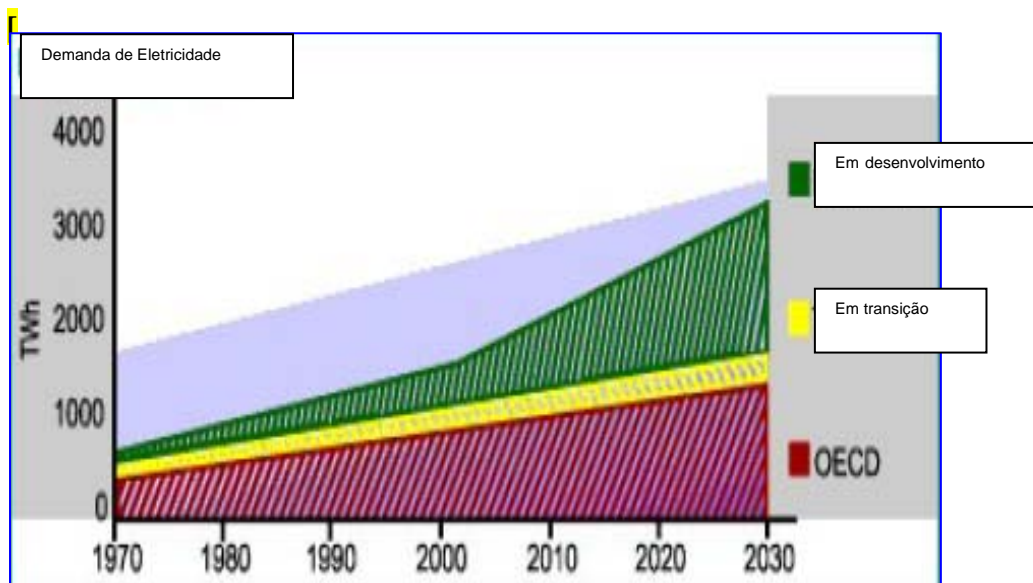


Figura 1 – Demanda de Eletricidade entre 1970 e 2030

(Fonte: Adaptado de OECD/IEA, World Energy Outlook 2004)

A geração de energia nuclear é uma parte consolidada das várias fontes de eletricidade mundial oferecendo cerca de 15% da eletricidade de todo o mundo sendo completados por carvão 40%, petróleo 10%, gás natural 15% e hidrelétricas e outros 19% (Figura 2). Para o consumo em larga escala, é especialmente conveniente uma demanda contínua de eletricidade que seja confiável (por exemplo, carga básica).

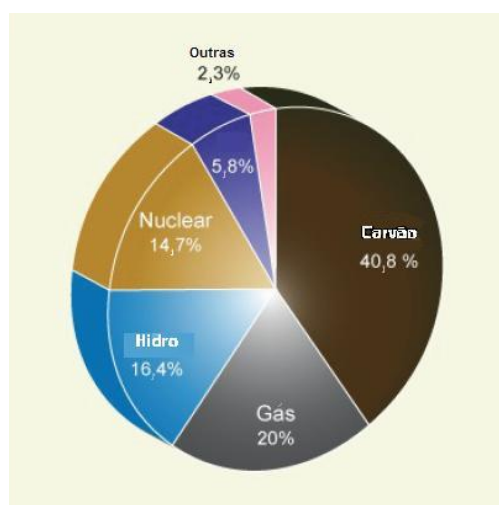


Figura 2 – Geração de eletricidade por fonte.

(Fonte: Adaptado de OECD/IEA, World Energy Outlook 2006)

Ao mesmo tempo em que oferece segurança de fornecimento e minimiza as emissões de dióxido de carbono, o *World Energy Outlook 2008* ressalta a crescente importância da energia nuclear para satisfazer as necessidades energéticas. A edição de 2006 desse relatório alertou que, se as políticas continuarem inalteradas, a demanda de energia do mundo em 2030 deve aumentar 53%, acompanhada por uma crise de fornecimento, oferecendo um futuro energético “sujo, inseguro e caro” que é insustentável. Mais de 70% do aumento de demanda de energia vem dos países em desenvolvimento, liderados pela China e Índia – segundo esse relatório, em 2010, a China supera os Estados Unidos como principal emissor de CO₂.

O relatório também demonstra que, sendo abundante o combustível de urânio, a energia nuclear poderia oferecer uma grande contribuição para reduzir a dependência de gás importado e reduzir as emissões de CO₂ de uma maneira rentável. No entanto, os governos devem ter um papel mais importante, facilitando investimentos privados, especialmente em mercados de eletricidade liberalizados, onde a troca entre segurança e preço baixo tem sido um freio para o investimento em novas fábricas e infraestrutura de rede. O relatório da IAEA de 2008 (IAEA, 2008b) mostrou que, até 2030, com o cenário de referência, é necessário um investimento de US\$ 26 trilhões; e, com um cenário alternativo de energia com pouco carbono, cerca de US\$ 6,5 trilhões a mais; neste caso, a capacidade nuclear aumenta 85% para 680 GWe (gigawatts elétricos), a demanda de energia reduz-se em cerca de 10% e as emissões de CO₂ reduzem-se 27%, comparado a 2006. Do montante de US\$ 26 trilhões, US\$ 13,6 trilhões é para eletricidade: cerca de metade para geração e o resto para transmissão e distribuição.

Em sua publicação anual *Estimativas de Energia, Eletricidade e Energia Nuclear até 2030* (IAEA, 2008a),⁵ de setembro de 2009, a Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA) revisou para cima suas projeções para 2030. Sua baixa projeção mostra um aumento de 372 GWe hoje, para 511 GWe em 2030, enquanto que a alta prevê 807 GWe, alinhada com o aumento previsto em geração de energia. Os aumentos de custos de gás natural e carvão, juntamente com a segurança de fornecimento de energia e as restrições ambientais, estão entre os fatores que permitem prever o crescimento nuclear. Empenhos crescentes dos governos, fornecedores de instalações e de equipamentos no sentido de expandir a capacidade nuclear, além do fim de restrições de comércio nuclear com a Índia, confirmaram as tendências anteriores.

A Agência de Energia Nuclear da OECD publicou seu primeiro *Nuclear Energy Outlook* (NEO) em outubro de 2008. Além do fato de, virtualmente, a energia nuclear não conter carbono, mostra-se, aí, que a segurança de energia é realçada devido à alta densidade de energia

do combustível nuclear, o que significa que o transporte é menos vulnerável e o armazenamento de grandes reservas é fácil. No cenário alto do NEO, continuam a maior vida útil e as melhoras nas usinas, sendo os planos atuais para nova capacidade amplamente implementados até 2030. Depois disso, novas construções são aceleradas, para trazer 50 GWe anualmente, oferecendo uma capacidade nuclear de 1400 GWe em 2050. Nessa previsão, há fatores indicando esse resultado. No cenário baixo, novas usinas substituem, com alguma melhora e prolongamento de vida útil, as que são aposentadas em 2030, e esse prolongamento passa a ser modesto, resultando em apenas 600 GWe funcionando em 2050, em comparação com 373 GWe de hoje.

O *International Energy Outlook*, da Administração de Informação de Energia dos Estados Unidos, que em 2009 projeta 509 GWe em 2030, também revisou para cima suas projeções baixas. Isso é aproximadamente 40% mais alto que a projeção publicada seis anos antes. O caso de referência inclui 47 GWe a mais na China, 17 GWe na Índia, 21 GWe na Rússia e 13 GWe nos Estados Unidos.

A Electricité de France (EdF) publicou previsões para o período de 2020. Elas mostram a construção de 140 GWe de nova capacidade e 10 GWe descomissionados para se ter 480 GWe em 2020. Dos 140 GWe construídos, quase 30% está na China, 15% na Índia, e outros 15% na Ásia. A Europa, as Américas e a Rússia têm cerca de 12% cada.

O valor da energia nuclear foi revisto e reafirmado em mais de vinte países representativos da preponderância da atividade econômica e da população mundial – da América do Norte, por toda a Europa até a Rússia, e seguindo pelos maiores países do sul e do leste da Ásia, liderados pela China e Índia.

Mesmo em continentes com pouca energia nuclear (ou mesmo sem ela), o contexto político para energia nuclear mudou. O governo da África do Sul não somente abraçou a energia nuclear, como procura, agora, também um papel de liderança internacional em inovação de tecnologia de reator. E na Austrália, com sua liderança mundial em reservas de urânio e uma política antiquada de evitar a energia nuclear, políticos iniciaram um sério debate nacional que, finalmente, pode fazer com que a nação se torne não somente um usuário de energia nuclear, mas também uma grande participante do ciclo de combustível nuclear internacional.

Há de reconhecer-se, entretanto, que convicções antinucleares ainda podem ser encontradas em especulações de jornalistas e burocratas com interesses na área ambiental e no estranho caso da Alemanha, cuja política partidária continua presa a uma ideologia antinuclear antiquada. Mas todas essas forças reacionárias estão retrocedendo, sob o peso de fatos que são muito fortes para serem distorcidos ou negados. O ambientalismo antinuclear está sendo suplantado por um novo realismo, que reconhece a energia nuclear e a sua capacidade de

fornecer energia limpa, segura, confiável e em escala maciça.

Uma medida dessa expansão pode ser encontrada no Índice Nuclear Mundial, um novo barômetro financeiro, lançado em janeiro de 2008 pela World Nuclear Association (WNA). Em bolsas do mundo todo, para um conjunto de 64 ações, o Índice WNA oferece um meio sofisticado de acompanhamento da indústria nuclear mundial; e, também, de investimento nessa indústria, através de Fundo de Índice Negociado (FIN), baseado no Índice WNA e oferecido pelas principais instituições financeiras mundiais. De forma surpreendente, se nos últimos cinco anos já existisse um FIN, o investimento teria se multiplicado quatro vezes, e acredita-se que a indústria vá continuar tendo um crescimento robusto.



Figura 3 – Página da Web do Nuclear Energy Index

(Fonte: <http://wna.snetglobalindexes.com/>. Acesso em 5-7-2010)

A indústria nuclear está nitidamente crescendo. Porém, para ambientalistas sem preconceitos, tais projeções podem trazer pouco conforto – não por estar crescendo a energia nuclear, mas porque ela ainda não está crescendo com rapidez suficiente para desempenhar o seu papel necessário para a revolução da energia limpa que nosso mundo tão desesperadamente necessita.

Em se tratando de energia nuclear, há duas perguntas cruciais.

Primeira: Como se situam o governo e a indústria em relação ao esclarecimento das preocupações legítimas do público sobre a energia nuclear?

Segunda: O que deve ser feito, agora, para ampliar a aceitação pública e acelerar o renascimento nuclear?

Para suprir a demanda para produção de eletricidade na base da carga, sem energia nuclear, o mundo teria de depender quase inteiramente dos combustíveis fósseis, especialmente

de carvão mineral. A maior parte da demanda é para fornecimento contínuo e confiável, em larga escala, e existe pouca margem para mudar tal situação. Existe tanta eletricidade gerada por energia nuclear hoje quanto por todas as fontes no mundo em 1960.

Opções de geração e a estabilidade da rede elétrica

As fontes de energia renováveis para geração de eletricidade constituem um grupo diversificado, que vai desde as energias eólica, solar, de maré e das ondas à geração de energia hidrelétrica, geotérmica e da biomassa. Para geração de energia em larga escala, onde o fornecimento contínuo e confiável é necessário, afora a energia hidrelétrica – obviamente nos locais onde a natureza permite sua abundância, como é o caso do Brasil –, nenhuma dessas é adequada, tanto do ponto de vista técnico como econômico.

Entretanto, vai haver, nos próximos anos, aumento no uso das fontes renováveis de energia, mesmo seu papel sendo limitado pela intermitência de sua natureza. E a atratividade econômica dessas fontes está limitada a situações especiais, como a da biomassa de cana-de-açúcar no Brasil. Onde houver demanda de fornecimento de eletricidade de pequena escala e intermitente, as renováveis serão mais usadas. Nos países da OECD, cerca de 2% da eletricidade vêm de fontes renováveis não hidrelétricas, e espera-se que isso chegue a 4% até 2015.

Quando se comparam as vantagens e as desvantagens de diversas fontes de energia, um elemento ignorado com frequência é o fator de capacidade (FC). O FC é uma medida de desempenho de uma fonte de energia durante um período, calculada como porcentagem de seu potencial energético total. Uma usina de geração elétrica cujo fator de capacidade seja de 50% somente vai funcionar com 100% de sua potência máxima durante 50% do tempo. Por outro lado, uma usina que funciona com 50% de sua potência máxima durante 100% do tempo também tem um FC de 50%. O fator de capacidade é importante não apenas por refletir o desempenho de uma usina geradora, mas por um maior fator de capacidade implicar uma rede elétrica mais estável.

Imagine o que acontece com a rede quando se desliga uma turbina movida a gás natural. Na rede, a necessidade, ou carga, permanece igual, mas vai ter de vir energia de algum lugar, isto é, de outra fonte de geração. É grande o valor das usinas de geração elétrica com um alto fator de capacidade, pois são de tal modo confiáveis, que raramente trazem distúrbios para a rede. Consequentemente, um fornecimento de energia com baixo fator de capacidade muito provavelmente vai requerer sistemas extras – e diversificados – de substituição (*backup*), de modo a assegurar que a energia na rede não seja interrompida durante períodos de baixa geração elétrica ou não-geração.

Quais são, então, os fatores de capacidade médios das diversas alternativas de geração elétrica? De acordo com a U. S. Energy Information Administration (EIA), em 2007, os fatores de capacidade apurados nos Estados Unidos são os seguintes:

Usina de ciclo de gás natural combinado – 11,4%;

Derivados de petróleo (óleo combustível e diesel) – 13,4%;

Hidrelétrica – 36,3% (no caso brasileiro, a média das hidrelétricas existentes é de 55%);

Renováveis (vento/solar/biomassa) – 40% (no caso brasileiro, as usinas termelétricas a biomassa – na maioria bagaço de cana – têm média de 47%, associada ao ciclo das colheitas anuais);

Carvão – 73,6%;

Nuclear – 91,8% (no caso brasileiro, Angra 1 e Angra 2 têm FCs acumulados no período 1997-2009 de 78% e 83%, respectivamente).⁶

Como se pode observar, os fatores de capacidade variam consideravelmente.

No caso americano, devido ao alto custo do gás natural, a maioria das turbinas a gás permanece inativa durante a situação normal de carga. Durante o pico do verão, quando os condicionadores de ar estão funcionando, aumenta a demanda (e o custo), e as turbinas são ligadas para aproveitar a energia valiosa. Caso contrário, não é rentável fazer funcionar as turbinas. No caso brasileiro, as usinas termelétricas a gás natural e derivados de petróleo desempenham um papel especial de regular o nível dos reservatórios das hidrelétricas durante os períodos de seca, minimizando o risco hídrico.

Nos Estados Unidos, no momento, mais da metade da eletricidade é obtida de carvão mineral. Com 73,6% de FC, o carvão representa uma geração confiável de carga básica. A carga básica refere-se àquelas usinas de energia projetadas para funcionar 24 horas/dia e 7 dias/semana (24/7). Os 26,3% perdidos devem-se, antes de tudo, a problemas no equipamento, causados por envelhecimento e falta de manutenção nas usinas a carvão do país.

Note-se que as energias renováveis funcionam somente com 40% de FC. Enquanto o vento, o sol e a biomassa trazem benefícios ambientais óbvios e têm custos de combustível baixos ou inexistentes, a natureza intermitente de um fator de capacidade baixo significa que é necessário haver energia de reserva, para garantir que a continuidade da geração e sua segurança permaneçam em pré-aviso (*stand-by*). Considerando o custo da energia de reserva, visando aos

⁶ U. S. Energy Information Administration, *Average Capacity Factors by Energy Source, 1996 through 2007*, disponível em <http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epa/epata6.html>, acesso em 2-12-2009.

60% de tempo quando nada estará sendo gerado, isso tende a ser o mais oneroso. Sem geração elétrica na base de carga, as energias renováveis, sozinhas, resultariam em uma rede de energia não confiável, com severas consequências para a rede elétrica.

Energia nuclear confiável

Em termos de FC, a energia nuclear supera qualquer outra fonte. Em 1979, quando ocorreu o incidente de Three Mile Island (TMI), o FC padrão das usinas nucleares dos Estados Unidos chegava a 58,4%. Naquele momento, os parâmetros de manutenção dos equipamentos de segurança eram muito deficientes, resultando em frequentes desligamentos automáticos. Depois do incidente de TMI, foi formado o Institute of Nuclear Power Operators⁷ e colocaram-se em prática padrões rígidos. Agora, contando com uma intolerância absoluta em relação a falhas inesperadas no equipamento, as usinas nucleares americanas estão funcionando com capacidade muito maior, a despeito do aumento da idade da frota nuclear.

Embora menos usinas nucleares tenham sido construídas durante os anos 1970 e 1980, as que funcionam agora estão produzindo mais eletricidade. Em 2007, a produção era de 2608 bilhões de kWh. Durante seis anos, até 2006, o aumento (210 TWh) foi igual à produção de 30 novas usinas nucleares. Todavia, entre 2000 e 2006, não houve aumento líquido do número de reatores (e somente 15 GWe em capacidade). O resto das melhorias é devido a um melhor desempenho das unidades existentes. Em 2007, o desempenho caiu em 50 TWh, devido ao fechamento de usinas na Alemanha, no Reino Unido e no Japão.

Com maior perspectiva, de 1990 a 2006, a capacidade mundial cresceu 44 GWe (13,5%, devido tanto à adição de novas usinas quanto ao aumento de potência de algumas já em operação) e a produção de eletricidade subiu para 757 bilhões de kWh (40%). As contribuições relativas para esse aumento foram: novas construções (36%), aumento de potência (7%) e aumento de disponibilidade (57%).

Um quarto das usinas nucleares do mundo possui fatores de carga de mais de 90% e cerca de dois terços têm um desempenho superior a 75%, comparados com aproximadamente somente um quarto delas em 1990. Por 15 anos as usinas finlandesas estavam em primeiro lugar nas tabelas de desempenho, mas os Estados Unidos agora lideram, com as 25 melhores, seguidos pela Coreia do Sul.

Os desempenhos das usinas nucleares dos Estados Unidos mostraram uma melhoria estável nos últimos vinte anos, e o fator de capacidade médio agora está por volta de 90%, acima dos 66% em 1990, e 56% em 1980. Isso coloca os Estados Unidos como líder de desempenho,

⁷ Sigla em inglês, INPO.

com 12 dos 25 melhores reatores (o 25^o atingindo mais de 97,5%) – o país representa quase um terço da eletricidade nuclear do mundo.

Alguns desses números sugerem uma utilização próxima do máximo, dado que, para troca de combustível e manutenção de rotina, a maioria dos reatores tem de desligar a cada 12-18 meses. Nos Estados Unidos, isso levava por volta de 100 dias. Na última década, porém, a média reduziu para 40 dias. Outra medida é a perda de capacidade não-planejada que, nos Estados Unidos, esteve abaixo de 2% nos últimos anos.

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 maiores 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 próximas às minas e, depois, resfriadas com água doce, utilizando torres de resfriamento 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 quatro milhões de pessoas.

De modo conclusivo, a liderança do IPCC tem demonstrado a abrangência e a urgência da crise e está ousando apontar a energia nuclear como elemento essencial da solução. Ao fazer isso, firma-se sobre bases sólidas, pois, sob uma análise justa e desapaixonada, a energia nuclear é, de fato, a fonte de energia essencial para o desenvolvimento sustentável:

- seu combustível estará prontamente disponível por muitos séculos;
- sua presença oferece segurança energética;
- seu histórico de segurança é superior ao das maiores fontes de energia;
- seu consumo não causa quase nenhuma poluição ou gases de efeito estufa;

seu uso preserva para futuras gerações os recursos fósseis;
suas capacidades são escalonáveis, de pequenos a grandes reatores;
seus custos são competitivos e tendem a reduzir-se;
seus resíduos podem ser gerenciados de forma segura no longo prazo; e
suas operações são gerenciáveis, seja em países desenvolvidos ou em desenvolvimento.

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 a única tecnologia disponível confiável para, sem impacto ambiental destrutivo, energizar uma economia próspera. O reconhecimento dessa verdade, e a ação baseada nisso, reflete-se agora em um renascimento nuclear mundial, que reúne velocidade e dinamismo.

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.

A primeira coisa que se precisa saber sobre essas formas de produção de energia é que as fontes de combustível são convertidas em energia térmica, que, para girar uma turbina que produz eletricidade, é transformada em energia cinética. Há um processo idêntico no caso dos combustíveis-fonte (nuclear, carvão, gás natural e petróleo). Essas fontes de produção de energia diferem no modo de criação da energia térmica produzida no processo.

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 representam 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. É baseado nesse tipo de reação química que 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 – através 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.

O Quadro 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 através 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.

Quadro 1 – Densidade Energética por Fonte

Tipo de combustível	Densidade energética (kWh/kg)	Número de vezes mais denso do que o petróleo
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

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 4 dias) com um quilograma de carvão, ou mais de 140 horas (quase 6 dias) com um 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, até atingir a fissão pura, ou seja, 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 vezes mais densa do que o carvão.

A densidade energética também nos mostra a quantidade de combustível que uma usina necessita para produzir uma determinada quantidade de eletricidade. Dado estar a densidade energética 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 usada por uma usina. Sendo utilizada uma quantidade menor de combustível, necessariamente vai haver menos resíduos.

As reações (químicas e por fissão) utilizadas para gerar eletricidade produzem dois tipos diferentes de resíduos. Todas as fontes baseadas em reações químicas produzem essencialmente o mesmo tipo de resíduo, variando somente a quantidade. Carvão, gás natural e petróleo produzem emissões tais como dióxido de carbono, monóxido de carbono, óxidos de nitrogênio, partículas e, em quantidades relativamente pequenas, alguns outros tipos de emissão, como mercúrio e mesmo urânio (derivado da queima de carvão). Além dessas emissões, a queima de carvão também produz um grande volume de resíduos.

Atendimento às preocupações públicas legítimas

Quanto às preocupações públicas, tão freqüentemente citadas nos jornais, uma avaliação justa mostra que nenhuma representa um verdadeiro obstáculo para a expansão mundial de energia nuclear.

Proliferação

A proliferação nuclear, é claro, continua sendo uma preocupação global, e pode-se dizer o mesmo sobre como lidar com os poucos países mal-intencionados, que podem buscar o acesso a armas atômicas construindo instalações capazes de produzir materiais necessários. Mas as verdades essenciais são as seguintes:

O perigo da proliferação é inerente ao conhecimento nuclear e à vontade política dos governos;

A não-proliferação global e o sistema de salvaguardas internacionais, estabelecido pelo Tratado de Não-Proliferação (TNP), restringem efetivamente qualquer ligação entre programas civis e militares, e buscam garantir a detecção e interrupção de atividades nucleares ilícitas; e

Mais fundamentalmente, qualquer risco de proliferação que enfrentássemos não provocaria efeitos, mesmo para um crescimento 20 vezes maior no uso global de reatores nucleares salvaguardados para produzir energia limpa.

Segurança operacional

A indústria nuclear conseguiu enfrentar o desafio da segurança operacional através de avanços tecnológicos e uma cultura de segurança nuclear global que se baseia em 13 mil reatores-ano de experiência prática.

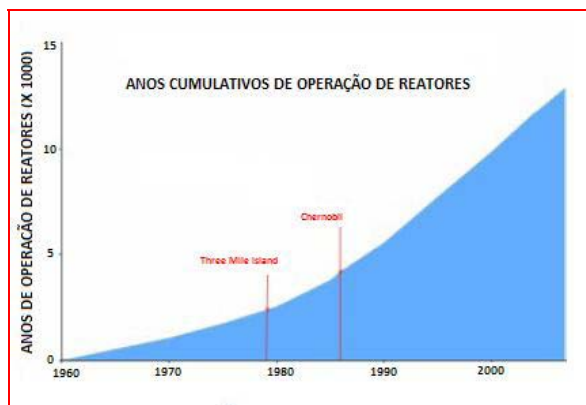


Figura 4 – Operação cumulativa de reatores nucleares (anos x 1000)

Assim como o TNP é um grande feito da diplomacia tradicional, a criação da Wano⁸ – com sua rede internacional de cooperação para segurança nuclear, compreendendo todas as

⁸ The World Association of Nuclear Operators.

empresas geradoras elétricas nucleares mundiais, representa um feito histórico na diplomacia do setor privado. A maior responsabilidade da indústria nuclear é a de manter e consolidar o seu já impressionante histórico de segurança nuclear.

Redução de custo

À frente do custo, as constantes reduções da indústria – tanto nos custos operacionais quanto de capitais – estão nos levando rapidamente a um futuro onde a energia nuclear vai emergir como um claro vencedor no campo da viabilidade econômica.

Essa vantagem competitiva surge mesmo quando não se consideram os efeitos ambientais dos concorrentes. Quando os governos começarem a introduzir sérias penalidades para as emissões – via comércio de emissões ou taxas sobre o carbono –, a vantagem econômica deve ser ainda maior. Hoje, a energia nuclear pode facilmente dominar qualquer mercado que puder impor um preço real para os impactos ambientais.

Gerenciamento de resíduos

A geração nucleoe elétrica é a única opção tecnológica de produção de eletricidade em grande escala que tem completa responsabilidade sobre todos os seus rejeitos e assume integralmente os custos da sua gestão. Os custos dos rejeitos gerados em todas as etapas do ciclo do combustível são internalizados e pagos pelos consumidores na tarifa de eletricidade.

Em cada etapa do ciclo do combustível, existem tecnologias comprovadas para o gerenciamento seguro dos rejeitos radioativos. O objetivo principal da gestão e disposição de rejeitos radioativos é proteger as pessoas e o ambiente. Isto significa isolar ou diluir os rejeitos, de modo a tornar inofensiva a taxa ou concentração de qualquer radionuclídeo⁹ que volte para a biosfera. Para conseguir isso, praticamente todos os rejeitos são contidos e controlados. É vedada, ao setor de geração nucleoe elétrica, a possibilidade de causar poluição nociva através de liberação de materiais radioativos para o ambiente.

A radioatividade de todos os rejeitos nucleares decai com o tempo. Cada radionuclídeo contido nos rejeitos tem uma meia-vida – o tempo necessário para a metade de seus átomos decaírem e, assim, perder metade da sua atividade. Radionuclídeos com meias-vidas longas

⁹ Um radionuclídeo é um isótopo radioativo de um elemento químico em particular. Isótopos de um elemento possuem o mesmo número atômico, mas diferente número de massa, isto é, seu número de prótons é o mesmo, mas o número de nêutrons é diverso.

tendem a serem emissores alfa e beta – fazendo que seu manuseio seja mais fácil por meio de blindagens simples –, enquanto aqueles com meia-vida curta tendem a emitir raios gama, mais penetrantes e, portanto, requerendo blindagens mais complexas. Todos os rejeitos radioativos, entretanto, decaem em elementos não radioativos. Quanto mais radioativo é um isótopo, mais rápido ele decai.

Todos os rejeitos tóxicos precisam ser tratados com segurança, não apenas os rejeitos radioativos. Nos países que contam com a geração elétrica nuclear, os rejeitos radioativos compreendem menos de 1% do total de rejeitos industriais tóxicos. O volume de rejeitos nucleares produzidos na geração nucleoe elétrica é muito pequeno, se comparados a outros rejeitos gerados. A cada ano, as instalações de geração de energia nuclear no mundo produzem cerca de 200 mil m³ de rejeitos radioativos de baixa atividade¹⁰ e média atividade¹¹, e cerca de 10 mil m³ de rejeitos de alto nível de atividade¹², incluindo o combustível usado, impropriamente designado como rejeito (IAEA, 1995).¹³

Note-se que o combustível usado, apesar de conter rejeitos de alta atividade (da ordem de 5% de sua massa total), não pode, aprioristicamente, ser classificado como rejeito, pois pode ser reciclado. O reprocessamento, nome dado pela indústria nuclear à reciclagem, permite separar os rejeitos de alta atividade da massa do combustível usado, sendo os restantes 95%, basicamente urânio com baixo enriquecimento e uma pequena parte de plutônio físsil, reaproveitáveis para outro ciclo de geração de energia. França e Japão já praticam esse reprocessamento em escala industrial.

Nos países da OCDE, são produzidas a cada ano cerca de 300 milhões de toneladas de resíduos tóxicos, mas os rejeitos radioativos condicionados atingem um montante de apenas 81 mil m³ por ano. No Reino Unido, por exemplo, cerca 120 milhões de m³ de rejeitos são

¹⁰ *Rejeito de baixa atividade*: Rejeitos de baixa atividade radioativa são gerados a partir de hospitais e indústria, bem como pelo ciclo do combustível nuclear. Eles não requerem blindagem durante o manuseio e transporte, e são apropriados para enterro em profundidades rasas.

¹¹ *Rejeitos de média atividade*: Os rejeitos de média atividade radioativa contêm maiores quantidades de radioatividade e alguns requerem blindagem.

¹² *Rejeito de alto nível*: Rejeitos de alto nível de atividade radioativa decorrem da “queima” do combustível de urânio em um reator nuclear. São altamente radioativos e quentes; sendo assim, exigem refrigeração e blindagem. Podem ser considerados como a “cinza” da “queima” de urânio. Contabilizam mais de 95% da radioatividade total produzida no processo de geração de eletricidade. Existem dois tipos distintos: rejeitos do próprio combustível usado; rejeitos resultantes do reprocessamento de combustível usado.

¹³ Publicação do programa Radioactive Waste Safety Standards (RADWASS).

geradas por ano – o equivalente a pouco mais de 20 caixotes de 100 litros de lixo cheios, para cada homem, mulher e criança. A quantidade de rejeitos nucleares produzidos em média por cada membro da população do Reino Unido é de 840 cm³ (ou seja, um volume inferior a um litro). Destes rejeitos, 90% do volume é ligeiramente radioativo, sendo classificado como rejeito de baixa atividade (com apenas 1% da radioatividade total de todos os rejeitos radioativos). Os rejeitos de atividade intermediária perfazem 7% do volume e tem 4% da radioatividade. A forma mais radioativa de rejeitos é classificada como rejeitos de alta atividade e, ao mesmo tempo, representa apenas 3% do volume de todos os rejeitos radioativos produzidos (o que equivale a cerca de 25 cm³ por cidadão por ano no Reino Unido), que contém 95% da radioatividade.¹⁴

Um reator de água leve típico, de 1000 MWe, vai gerar (direta e indiretamente) 200 m³ a 350 m³ de rejeitos de baixa e média atividade por ano. Descarregará também cerca de 20 m³ (27 toneladas) de combustível utilizado por ano, o que corresponde a um volume de 75 m³ de disposição final, após o encapsulamento, se for tratado como rejeito. Sempre que o combustível usado é reprocessado, apenas 3 m³ de rejeitos vitrificados (vidro) são produzidos, o que, após a colocação em uma ampola de disposição, é equivalente a um volume de 28 m³ de eliminação.

Comparando isso com uma média de 400 mil toneladas de cinzas produzidas a partir de uma central de geração elétrica a carvão de mesma potência, vê-se que, hoje, as tecnologias para redução e diminuição do volume, bem como a contínua disseminação das boas práticas no âmbito da força de trabalho, têm contribuído para a minimização contínua dos rejeitos produzidos, princípio 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 forma a respeitar o ambiente e não apresentar nenhum perigo, tanto para trabalhadores como para o público em geral.

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 quantidade 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.

Essas tecnologias contemplam a recuperação de elementos do grupo dos actinídeos (plutônio, amerício e cúrio), que estão presentes no combustível usado dos reatores das centrais

¹⁴ World Nuclear Association, *Waste Management in the Nuclear Fuel Cycle* (atualizado em junho de 2009), disponível em <http://www.world-nuclear.org/info/info4.html>.

nucleares comerciais atualmente em funcionamento. Como mostrado Figura 5, a toxicidade do combustível irradiado sem actinídeos 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 actinídeos de longa-vida.

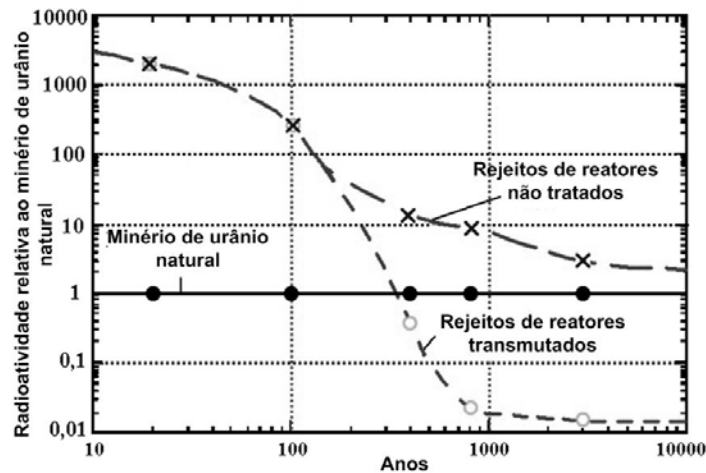


Figura 5 – Redução da radiotoxicidade dos combustíveis usados

(Fonte: NE/DOE, *Advanced Fuel Cycle Initiative*, Office of Nuclear Energy, Science and Technology, jan. 2006, disponível em <http://www.gnep.gov/pdfs/AFCI.pdf>)

A transmutação do combustível nuclear fará com que a sua escala de tempo seja trazida para uma escala de gestão comparável aos tempos médios de degradação de vários materiais presentes em rejeitos industriais e energéticos até que atinjam o seu estado natural.

Uma nova preocupação: Terrorismo

Uma nova preocupação pública é o terrorismo. Para superar a preocupação exagerada, devemos nos apoiar em fatos, bom senso e educação.

O uso, em uma cidade moderna, de dispositivos explosivos radiológicos, muitas vezes chamados de “bomba suja”, é uma grande preocupação em muitos países, e isso não deve ser ignorado. O que pode ser dito com certa segurança é que, se tal dispositivo for usado, o material radiológico será quase certamente – por simples razões de disponibilidade – provenientes de fontes radiativas como as utilizadas por hospitais e indústrias, e não, as de uma usina nuclear ou de um depósito de resíduos nucleares.

Quanto à vulnerabilidade de usinas nucleares, elas constituem, pela sua própria natureza, as estruturas mais robustas já construídas. Mesmo um choque direto por um grande avião, que por si só iria exigir uma exímia pilotagem, seria improvável que produzisse uma liberação

radioativa gravemente prejudicial. De fato, com um reator nuclear do século XXI, o mesmo pode ser dito se o reator caísse por algum tempo nas mãos de um grupo de pessoas mal intencionadas. Uma usina de energia nuclear simplesmente não é um instrumento eficaz para causar destruição numa população próxima.

Para um terrorista que busca massacrar ou destruir, uma metrópole industrial moderna apresenta, infelizmente, um ambiente cheio de alvos. Felizmente, na lista de alvos convidativos, aqueles com propósitos nefastos vão encontrar as usinas nucleares em níveis de exequibilidade muito baixo.

No Quadro 2, a seguir, são apresentadas assertivas antinucleares comumente veiculadas, que causam legítimas preocupações no público e as correspondentes respostas.

Assertivas antinucleares comuns	Principais pontos de resposta
Minas de urânio inevitavelmente poluem o ambiente, barragens de rejeitos causam poluição através de vazamentos.	Hoje as minas de urânio têm como objetivo atingir emissão zero de poluentes. Qualquer água liberada é de escoamento superficial e se aproxima do padrão potável. A retenção de rejeitos normalmente não causa poluição fora do sítio. Grandes minas de urânio na Austrália e no Canadá possuem a certificação Iso14001.
Rejeitos de urânio retêm quase toda a sua radioatividade, que continua por centenas de milhares de anos	Verdade, mas o nível de radioatividade é muito baixo e, com técnicas consagradas de engenharia comum, eles não representam ameaça a ninguém. Toda a radioatividade provém da jazida original (nenhuma radioatividade adicional é “criada”). O processo de restauração da mina de urânio garante que esses rejeitos são seguros, estáveis e não causam nenhum dano.
O urânio é potencialmente perigoso para a saúde dos mineiros.	A mineração de urânio é altamente regulamentada na maior parte dos países e as normas garantem que não há risco de efeitos adversos à saúde.
Não existe um nível seguro de exposição à radiação.	Mesmo sendo aceita como uma base conservadora para as normas de proteção radiológica, essa afirmação não constitui de fato um postulado científico. Níveis baixos de radiação comparáveis aos recebidos naturalmente em certos locais (até 50 mSv/ano) não são perigosos, o que é demonstrado pelos estudos epidemiológicos das populações que vivem nesses locais, como o litoral sul do Espírito Santo, no Brasil.
Resíduos nucleares (no combustível usado ou após seu reprocessamento) constituem um problema não resolvido.	Em todos os países em que se utiliza a energia nuclear, existem procedimentos bem instituídos de armazenamento, gerenciamento e transporte para tais resíduos, financiados pelos utilizadores de energia. Resíduos são controlados e gerenciados, e não descartados. O armazenamento é protegido e seguro, e existem planos para eventual disposição final.
A indústria nuclear é responsável por terríveis resíduos que, como um pesadelo, vão perdurar para as gerações futuras.	A energia nuclear é a única indústria produtora de energia que assume responsabilidade total pelo gerenciamento de todos os seus resíduos, e assume os custos disso.
Reatores nucleares não são seguros, Chernobyl foi característico, e resultou em um enorme número de mortes.	A indústria nuclear possui um excelente histórico de segurança, com mais de 12 mil reatores-ano de experiência operacional acumulada por cinco décadas. Mesmo um grande acidente, com derretimento do núcleo de combustível em um reator típico, não colocaria em risco o público e o meio ambiente. Alguns reatores projetados e construídos pela extinta União Soviética têm sido motivo de preocupação por muitos anos, mas estão muito melhores hoje do que em 1986. O desastre de Chernobyl seria basicamente impossível de se reproduzir em

	qualquer usina ocidental, ou mesmo em qualquer usina que seja construída nos dias de hoje. De acordo com números oficiais das ONU, a contagem de mortos de Chernobyl é de 56 (31 trabalhadores naquele momento, mais 16 trabalhadores após o acidente e mais 9 pessoas do público de câncer de tireóide).
Reatores nucleares são vulneráveis a ataques terroristas, como o ocorrido no World Trade Center em 2001; o armazenamento de resíduos e de combustível usado, muito mais ainda.	Qualquer reator autorizado no ocidente é dotado de uma estrutura de contenção substancial, e muitos também têm vasos de pressão e estruturas internas muito robustas. Avaliações feitas desde 2001 sugerem que os reatores nucleares estariam bem equipados para sobreviver a um impacto daquele tipo sem nenhum perigo de radiação local. O armazenamento de resíduos civis e de combustíveis usados também é robusto e muitas vezes se encontra no subsolo.
Companhias de seguro não dão cobertura a reatores nucleares, portanto, o risco recai sobre o governo.	Todos os reatores nucleares, pelo menos no ocidente, estão garantidos por seguros. Não somente isso: são riscos bem aceitos pelas seguradoras, devido a seus altos padrões operacionais e de engenharia. Além da cobertura para usinas individuais, existem acordos nacionais e internacionais para coberturas ainda mais abrangentes.
A energia nuclear é muito cara. Eficiência energética é tudo o que é preciso, com maior uso de renováveis.	A energia nuclear é mais competitiva que o carvão mineral, sendo mais barata em certos locais e, em outros, mais cara. Se os custos ambientais são considerados, a energia nuclear se torna ainda mais competitiva. A eficiência energética é vital, mas não pode substituir maior capacidade de geração. A energia eólica é normalmente mais onerosa – muitas vezes o dobro por kWh.
A energia nuclear goza de subsídios maciços do governo.	Em nenhum lugar do mundo a energia nuclear é subsidiada – ao contrário, na Suécia e Alemanha existem sobretaxas especiais. Nos Estados Unidos, subsídios limitados têm sido oferecidos para novas usinas de 3ª geração, em nível de 1.8c/kWh, muito inferiores aos subsídios ilimitados disponíveis para a energia eólica.
No ciclo completo do combustível, a energia nuclear utiliza quase tanta energia quanto consome.	Esse folclore popular é facilmente refutável por informações extraídas de estudos sérios. Na realidade, considerando todo o consumo, incluindo o gerenciamento de resíduos, menos de 6% da energia produzida é gasta na situação mais desfavorável. Em média são gastos somente 2-3%.
Descomissionar usinas nucleares será muito caro.	Normalmente, o descomissionamento é financiado enquanto a usina está em operação. Experiências até agora nos dão uma boa ideia de custos, e as estimativas iniciais estão sendo revisadas para menos.
Fontes de energia renovável deveriam ser utilizadas em substituição à energia nuclear.	Fontes renováveis podem ser utilizadas tanto quanto possível, porém há limitações intrínsecas (fontes difusas, de baixa densidade energética e intermitentes). Isso significa que vento e sol não podem nunca substituir economicamente fontes como o carvão mineral, o gás e a energia nuclear como fornecimento em grande escala, contínuo e confiável.
O transporte de urânio e de outros materiais radioativos é perigoso.	Qualquer tipo de material é transportado em <i>containers</i> concebidos para dar segurança em qualquer circunstância. Em uma estrada pública, carros-tanque são mais perigosos que qualquer material radioativo em trânsito em qualquer lugar.
Reprocessar combustível gasto dá lugar ao plutônio, que pode ser utilizado em bombas.	O plutônio obtido a partir de reprocessamento não é adequado para bombas, mas é um combustível valioso, que pode ser utilizado juntamente com urânio empobrecido como combustível óxido misto (MOX).
Exploração de urânio contribui para a proliferação de armas nucleares.	Todo o urânio comercializado é vendido unicamente para produção de eletricidade, e dois níveis de acordos de salvaguardas abrangentes internacionais confirmam isso. Fornecedores ocidentais não admitem clientes que não obedecem às exigências de contabilidade, controle e auditoria de materiais nucleares.
Não podemos garantir que urânio não resulte em armas.	Medidas de salvaguarda detectariam qualquer desvio. Hoje, materiais militares estão sendo liberados para diluição e uso civil, então não há razão para desvio em países clientes.

Al Gore, antigo vice-presidente dos Estados Unidos disse (18-9-2006): “Durante meus oito anos na Casa Branca, todos os problemas de armas nucleares que tratamos estavam ligados a problemas em programas de usinas nucleares. Hoje, os programas de armas no Irã e na Coreia do Norte estão ligados aos seus programas civis de usinas nucleares”.	Ele não está certo. O Irã não conseguiu convencer ninguém de que seu programa de enriquecimento clandestino nada tenha a ver com sua usina nuclear em construção (que será abastecida pela Rússia), e a Coreia do Norte não têm qualquer programa civil e usinas nucleares. Em relação à Índia e Paquistão, em que Al Gore poderia ter pensado, existe certamente uma ligação entre a área militar e a civil, mas isso é parte da razão pela qual estão fora do Tratado de Não Proliferação Nuclear.
A energia nuclear contribui de forma insignificante para o atendimento das necessidades energéticas do mundo.	A geração de energia usa 40% da energia primária do mundo. A energia nuclear fornece 16% da eletricidade mundial, mais do que o total da eletricidade produzida mundialmente em 1960.
O número de reatores nucleares está constantemente caindo, à medida que deixam de ser vantajosos.	Desde 1996, o número de reatores funcionando está estável, mas a produção de energia nuclear cresceu significativamente. Aqueles que estão sendo desativados são em sua maioria pequenos, enquanto os novos são principalmente grandes. Mais reatores estão sendo construídos, e mais de 200 estão planejados ou firmemente propostos.
A energia nuclear contribui muito pouco para a redução de emissões de dióxido de carbono.	Atualmente a energia nuclear evita a emissão de 2,5 bilhões de toneladas de CO ₂ em relação ao carvão mineral. Para cada 22 toneladas de urânio utilizadas, evita-se um milhão de toneladas de CO ₂ em emissões. Os fornecimentos de energia no ciclo de combustível nuclear produzem somente uma pequena porcentagem (1%-3%) das emissões de CO ₂ economizadas. Duplicar a produção nuclear mundial reduziria as emissões de CO ₂ da geração de energia em mais ou menos um quarto.
As usinas de enriquecimento de urânio são as maiores emissoras de produtos químicos que prejudicam a camada de ozônio, especificamente CFC-114 (Freon) utilizado como refrigerante.	Duas usinas da década de 1950 nos Estados Unidos eram grandes emissoras (360 t/ano), uma atualmente está fechada; a outra, atualmente em fase de fechamento, produz emissões muito reduzidas, muito abaixo de 1% do total de emissões de CFC dos Estados Unidos. Outras usinas de enriquecimento de urânio não utilizam esses produtos químicos.
Usinas de energia nuclear utilizam muito mais água do que as alternativas.	Qualquer usina de energia térmica (biomassa, gás, carvão mineral ou nuclear), utilizando o sistema convencional de ciclos de calor, necessita descarregar mais ou menos dois terços do calor utilizado para fazer eletricidade; a medida depende do tamanho e da eficiência térmica da usina. Nessa questão, não existe diferença fundamental entre biomassa, combustível fóssil e nuclear. O calor é descarregado ou em um grande volume de água (do oceano ou de um grande rio, aquecendo-a em alguns graus) ou em um volume relativamente menor de água em torres de resfriamento, utilizando resfriamento evaporativo (calor latente da vaporização). No último caso de 2 a 2,5 litros/kWh é evaporado, dependendo das condições.

Energia nuclear: um processo de aceleração viável

Desde 2001, fala-se muito em um despertar ou “renascimento” nuclear iminente, o que implica ter estado a indústria nuclear adormecida ou em declínio por um tempo. Enquanto esse pode ser o caso no mundo ocidental, na Europa do leste e na Ásia, a capacidade nuclear expandiu-se. De fato, globalmente, a parte de eletricidade nuclear no mundo manteve-se constante, por volta de 16%, desde os meados de 1980, com aumento da produção das usinas nucleares para compensar o crescimento global de consumo de eletricidade.

Uma grande diferença do *boom* da energia nuclear, durante os anos 1960 e 1970, é que as

maiores empresas da indústria nuclear perpassam vários países, oferecendo maior colaboração internacional. Do mesmo modo, países com uma indústria nuclear consolidada podem, através de colaboração internacional formal sob os auspícios da IAEA, ajudar países em desenvolvimento a ter acesso a tecnologias avançadas, ajudando-os a enfrentar a pobreza, sem emissões de gases de efeito de estufa. A revitalização global representa uma confluência de desenvolvimentos:

avanços contínuos na tecnologia de reatores;

esforços de pesquisas multinacionais para produzir saltos quânticos na tecnologia;

níveis de eficiência e capacidade de produção sem precedentes em países-chave;

um histórico de segurança operacional robusto e em ascensão, apoiado por uma cultura de segurança nuclear global agora dominante; e

progresso político na implementação de conceitos cientificamente sólidos de descarte de resíduos, utilizando repositórios geológicos profundos.

Vale ressaltar que, nos anos 1980, surgiram 218 reatores, configurando uma média de um a cada 17 dias: 47 nos Estados Unidos, 42 na França e 18 no Japão. A potência média era de 923,5 MWe. Portanto, não é difícil imaginar, após 2015, um número semelhante sendo comissionado em uma década. Porém, com a China e a Índia desenvolvendo todo o seu potencial de geração elétrica nuclear e com uma demanda mundial de energia, em 2015, duas vezes superior ao nível de 1980, uma estimativa realista do que é possível pode ser equivalente a uma unidade de 1000 MWe no mundo todo a cada cinco dias.¹⁵

Uma referência histórica relevante é a de 1941-1945, quando 18 estaleiros dos Estados Unidos construíram mais de 2.700 *Liberty Ships*. Eram 10.800 navios de carga padronizados, com um projeto inglês bem básico, mas tornaram-se símbolos da produtividade industrial bélica americana e foram vitais para o esforço de guerra. O tempo médio de construção era de 42 dias nos estaleiros, muitas vezes utilizando módulos pré-fabricados. Em 1943, eram concluídos a cada dia três. Tinham 135 metros de comprimento e podiam carregar 9100 toneladas de carga.

Com relação ao suprimento de urânio, nos próximos anos, entram em produção dois grandes projetos canadenses de minas de urânio; Austrália, Namíbia e Cazaquistão estão expandindo as operações de suas minas. Desenvolvimentos recentes e a previsão de demanda de urânio, aumentaram o preço de mercado para o produto, alcançando níveis que tornam atraentes novos empreendimentos de mineração. Isso tem pouco efeito nos custos de produção de energia

¹⁵ Nessa série, ver também *Heavy Manufacturing of Power Plants*, disponível em http://www.world-nuclear.org/info/inf122_heavy_manufacturing_of_power_plants.html, acesso em 5-8-2010.

nuclear, porém, leva a um interesse renovado em jazidas de urânio, que não eram lucrativas para a extração com os níveis de preços anteriores aos de 2003.

Quanto ao enriquecimento, a eficiente tecnologia de centrifugação está substituindo a antiga técnica de difusão gasosa, intensiva em energia, e grandes usinas estão sendo construídas na França e nos Estados Unidos. Um novo processo australiano, baseado em excitação por *laser*, está sendo desenvolvido pela GE-Hitachi.

Com relação à aceitação pública, a rejeição *a priori* da opção nuclear baseia-se em informações equivocadas, pois nenhuma das preocupações comumente alardeadas pelo público sobre energia nuclear representa um obstáculo legítimo ao processo e à aceleração do renascimento nuclear mundial. Dizer isso não é uma expressão de complacência, pois esclarecer permanentemente as preocupações públicas, enquanto for preciso, é condição necessária para conduzir a um renascimento nuclear com dinamismo global, se realmente quisermos realizar uma revolução de energia limpa no tempo necessário.

Energia Nuclear: uma visão de futuro

Hoje, a energia nuclear está utilizando 440 reatores para produzir um sexto da eletricidade do mundo. A partir de uma perspectiva ambiental, não seria adequado que a indústria nuclear simplesmente dobrasse, ou triplicasse, ou quadruplicasse a sua capacidade nesse século. De fato, não será adequado satisfazer as necessidades de uma revolução global de energia limpa, mesmo multiplicando a geração nuclear por dez neste século.

Devemos colocar-nos em uma trajetória para uma indústria nuclear do século XXI, que atinge a utilização de nada menos que 8 mil a 10 mil gigawatts de energia nuclear – um aumento de 20 vezes. Planejar qualquer coisa menor seria um desastre ambiental.

Antes de rotularmos isso de fantasia, recordemo-nos da seguinte história: nos anos 1980, só a França colocou em funcionamento 42 grandes reatores nucleares. De um ponto zero nos anos 1970, a França fez surgir, em uma década, 1 000 megawatts de energia nuclear para cada milhão de cidadãos – o suficiente para virtualmente satisfazer as necessidades de uma sociedade moderna para as próximas décadas.

Esta projeção simplesmente propaga a mesma conquista – durante todo um século – para um mundo maior, que não estará começando do zero e que vai necessitar de transporte nuclear e de dessalinização, assim como de eletricidade tradicional. Se pudermos conhecer claramente os perigos que nos rodeiam e estimular lideranças – nacionais e internacionais – para empregar as

ferramentas disponíveis, o sucesso nessa tarefa encontra-se dentro do espírito e da capacidade da humanidade.

O que é um engano perigoso, entretanto, é qualquer crença de que a humanidade pode evitar a calamidade ambiental sem ter energia limpa em tal escala.

No início dos anos 1930, reconhecendo uma ameaça mundial iminente de um tipo inteiramente diferente, Winston Churchill lançou mão do rearmamento militar britânico como a única esperança para evitá-lo. “Nunca,” disse ele, “uma segurança tão abençoada e tão fértil foi obtida de forma tão barata.” Hoje, o mesmo poderia ser dito sobre a energia nuclear.

Outro Inglês, H. G. Wells, viu a vida como: “uma corrida entre educação e catástrofe”. Hoje, essa máxima se aplica a toda a humanidade. Nosso mundo está em perigo, a corrida entre educação e catástrofe está ocorrendo, e não temos tempo a perder.

Abrangendo muitos países, unidos por uma dedicação comum aos mais elevados padrões profissionais, a indústria nuclear mundial tem hoje uma responsabilidade monumental – fazer uma contribuição vital para a vitória em uma corrida decisiva que vai determinar a sustentabilidade do futuro da humanidade. Para os profissionais da área nuclear, a história conferiu tanto uma obrigação solene quanto uma oportunidade estimulante.

Referências

Mídia impressa e eletrônica

- AGÊNCIA INTERNACIONAL DE ENERGIA. *World Energy Outlook 2008*. Disponível em http://www.worldenergyoutlook.org/docs/weo2008/WEO2008_es_english.pdf. Acesso em 10-11-2009.
- _____. *World Energy Outlook 2009. Key Graphs*. Disponível em http://www.iea.org/country/graphs/weo_2009/fig2-10.jpg, acesso em 10-11-2009.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *The Principles of Radioactive Waste Management*. Safety Series nº 111-F. Viena: IAEA, 1995.
- _____. *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2030*. Viena: IAEA, 2008a. Disponível em http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/RDS1-26_web.pdf. Acesso em 2-11-2009.
- _____. *International Status and Prospects of Nuclear Power*. Viena: IAEA, 2008b. Disponível em <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/NuclearPower/np08.pdf>, acesso em 2-11-2009.
- LOVELOCK, James. *A vingança de Gaia*. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2006.
- UNITED STATES ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION. *Average Capacity Factors by Energy Source, 1996 through 2007*. Disponível em <http://www.eia.doe.gov/cneaf/electricity/epa/epata6.html>. Acesso em 2-12-2009.
- WORLD NUCLEAR ASSOCIATION. *Heavy Manufacturing of Power Plants*. Disponível em http://www.world-nuclear.org/info/inf122_heavy_manufacturing_of_power_plants.html. Acesso em 5-8-2010.
- _____. *Waste Management in the Nuclear Fuel Cycle* (atualizado em junho de 2009). Disponível em <http://www.world-nuclear.org/info/info4.html>. Acesso em 5-8-2010.

Sites importantes

INSTITUTE OF NUCLEAR POWER OPERATORS (INPO), <http://www.inpo.info/>.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), www.oecd.org/.

WORLD ASSOCIATION OF NUCLEAR OPERATORS (WANO), <http://www.wano.info/>.

DOS AUTORES

LEONAM DOS SANTOS GUIMARÃES

Graduado em Ciências Navais pela Escola Naval (1980) e em Engenharia Naval e Oceânica pela Escola Politécnica da USP (1986). Mestre em Engenharia Naval e Oceânica pela Escola Politécnica da USP (1991) e em Engenharia Nuclear pelo Institut National des Sciences et Techniques Nucléaires da Universidade de Paris XI (1993). Assistente do Diretor-Presidente da Eletrobrás- Eletronuclear desde 2005. . Membro do Standing Advisory Group on Nuclear Energy da Agência Internacional de Energia Atômica desde de 2010.

JOÃO ROBERTO LOUREIRO DE MATTOS

Graduado em Engenharia Mecânica (1981), Mestre em Engenharia, ambos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1988) e Doutorado em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (2005). Atualmente Diretor do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e Professor Adjunto da Faculdade Pitágoras.