

# A energia nuclear em debate

MITOS, REALIDADES E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

FELIX MATTHES  
GERD ROSENKRANZ  
CÉLIO BERMANN  
Organizador

Tradução: DAVID HATHAWAY



FUNDAÇÃO  
HEINRICH  
BÖLL

# A energia nuclear em debate

MITOS, REALIDADES E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

---

FELIX MATTHES

GERD ROSENKRANZ

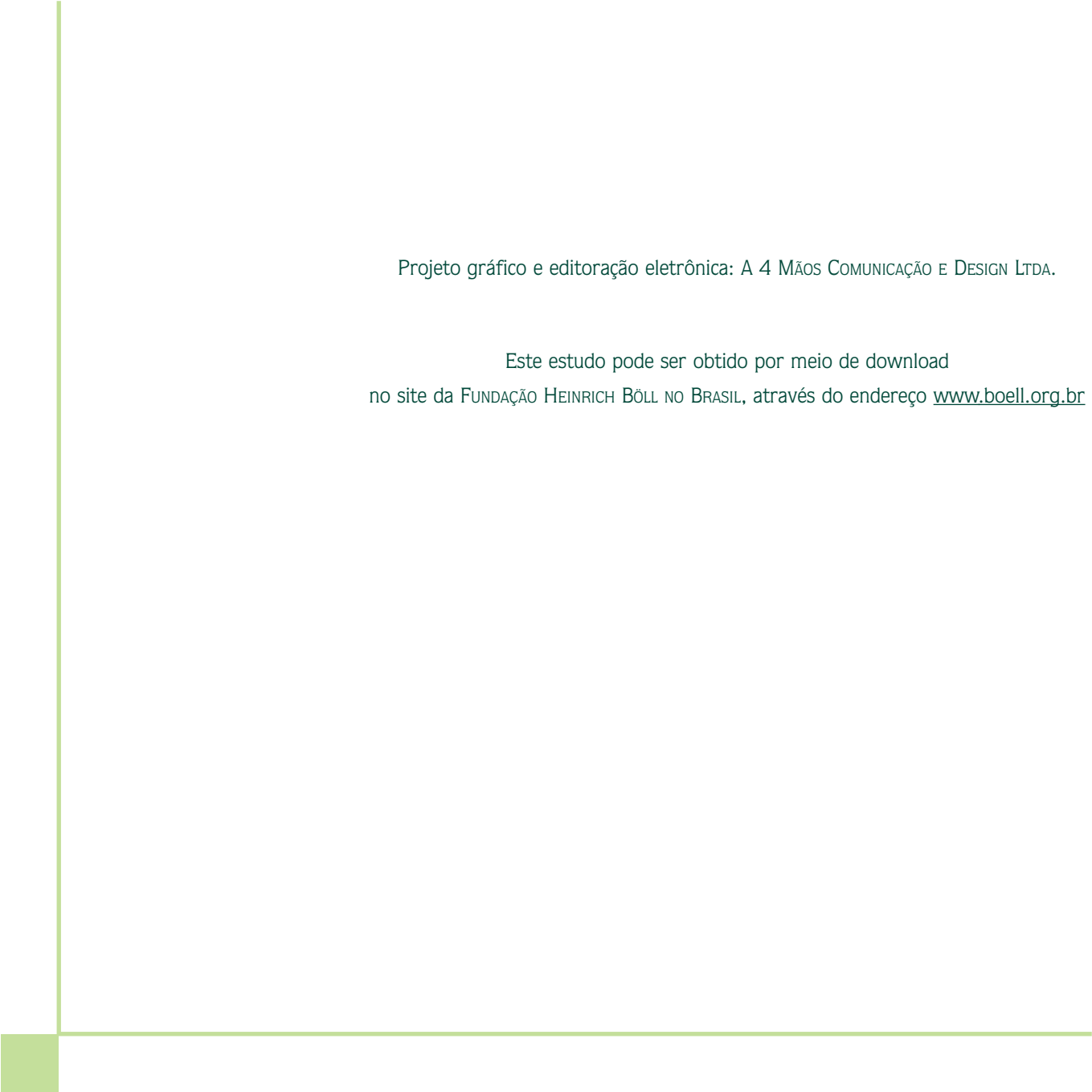
CÉLIO BERMANN

Organizador

tradução: DAVID HATHAWAY



FUNDAÇÃO  
HEINRICH  
BÖLL



Projeto gráfico e editoração eletrônica: A 4 MÃOS COMUNICAÇÃO E DESIGN LTDA.

Este estudo pode ser obtido por meio de download  
no site da FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL NO BRASIL, através do endereço [www.boell.org.br](http://www.boell.org.br)

## APRESENTAÇÃO

A Fundação Heinrich Böll é uma organização política sem fins lucrativos que atua no Brasil com a proposta de fortalecer as idéias democráticas, apoiar os movimentos sociais e contribuir para o desenvolvimento político, social e ambiental em bases sustentáveis. A instituição, que está ligada ao Partido Verde Alemão, trabalha em parceria com organizações não-governamentais, movimentos populares, universidades e sindicatos entre outros atores.

Dentro deste contexto, a Fundação lança o estudo **“A ENERGIA NUCLEAR EM DEBATE - Mudanças climáticas, mitos e realidades”**, ratificando sua posição crítica com relação à utilização da energia nuclear. A publicação faz uma análise da contraposição entre clima e energia, dentro de um quadro de mudanças climáticas, e discute os mitos e verdades que envolvem a energia nuclear: de um lado, a questão da universalização do acesso à energia e sua suposta contribuição para a redução do aquecimento global e, do outro, a questão do risco iminente e do alto custo de produção. A publicação também conta com um capítulo que traz um pouco essa discussão para o contexto brasileiro

Este estudo é mais uma iniciativa da Fundação Heinrich Böll no sentido de identificar propostas de políticas energéticas locais mais compatíveis com sociedades sustentáveis e que contribuam para a universalização do acesso à energia.

# ÍNDICE

## ENERGIA NUCLEAR E MUDANÇA CLIMÁTICA

Felix Christian Matthes ..... 5

## ENERGIA NUCLEAR - MITO E REALIDADE

Gerd Rosenkranz ..... 77

## ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL: UMA HISTÓRIA DE CONTROVÉRSIAS, RISCOS E INCERTEZAS

Célio Bermann ..... 131

# Energia Nuclear e Mudança Climática

Nuclear Issues Paper

**FELIX CHRISTIAN MATTHES**

## **O AUTOR:**

Felix Christian Matthes formou-se em Engenharia e é doutor e Ciência Política. Trabalhou na indústria durante alguns anos e, em 1991, passou a integrar a equipe de Berlim da Öko-Institut (Instituto para a Ecologia Aplicada), cuja sede fica em Freiburg. Publicou diversos estudos sobre políticas energéticas e climáticas em obras nacionais e internacionais, além de ter prestado consultorias sobre políticas públicas na Alemanha e na União Européia. De 2000 a 2002, foi membro científico da comissão do governo alemão sobre “Energia Sustentável no Contexto da Globalização e da Desregulação”

Nuclear Issues Papers  
Energia Nuclear e Mudança Climática  
por Felix Chr. Matthes  
© Fundação Heinrich Böll 2005  
Todos os direitos reservados

O seguinte texto não representa necessariamente os pontos de vista da Fundação Heinrich Böll.

Publicado pelo Escritório Regional da Fundação Heinrich Böll para a África Austral, em cooperação com a sede da Fundação Heinrich Böll.

### **Contato:**

Heinrich Böll Foundation Regional Office for Southern Africa, PO Box 2472;  
Saxonwold, 2132; África do Sul. Telefone: +27-11-447 8500. Fax: +27-11-447  
4418. e-mail: [info@boell.org.za](mailto:info@boell.org.za)

Heinrich Böll Stiftung, Rosenthaler Str. 40/41, 10178 Berlin, Alemanha.  
Tel.: ++49 30 285 340; Fax: ++49 30 285 34 109; [info@boell.de](mailto:info@boell.de);  
[www.boell.de/nuclear](http://www.boell.de/nuclear)

## SUMÁRIO

PREFÁCIO .....	8
1. INTRODUÇÃO .....	11
2. O DESAFIO DA MUDANÇA CLIMÁTICA .....	13
3. SE O MODELO NÃO MUDAR (“BUSINESS AS USUAL”) .....	19
4. A GESTÃO DE ESTRUTURAS DE RISCO COMPLEXAS .....	27
5. OPÇÕES PARA A MITIGAÇÃO .....	34
6. ESTRATÉGIAS-CHAVE: UM ESTUDO DE CASO SOBRE A ALEMANHA .....	64
7. CONCLUSÕES .....	70
8. REFERÊNCIAS .....	72





# PREFÁCIO

A mudança climática é sem dúvida um dos maiores desafios do Século XXI. Apesar de sinais positivos como a entrada em vigor do Protocolo de Kyoto e o bom funcionamento do Sistema Europeu para a Troca de Emissões, ainda falta muito para a resposta da humanidade chegar à altura da tarefa.

Grandes desafios exigem a articulação de grandes esforços. Será, no entanto, que eles também exigem tecnologias grandes, caras e arriscadas desenvolvidas há mais de meio século? Ou seja, responder à mudança climática exige que reconsideremos a energia nuclear?

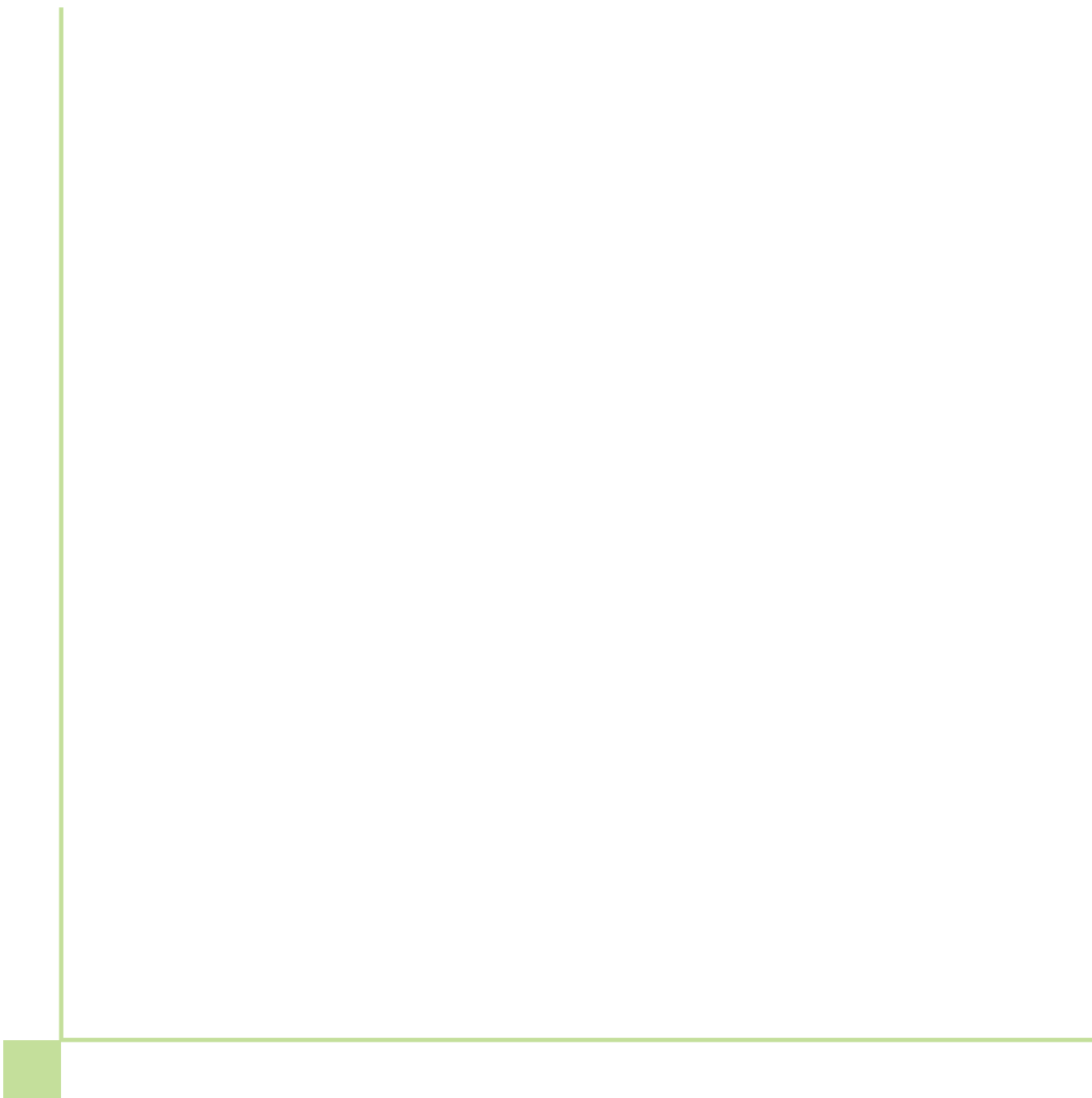
Felix Matthes demonstra convincentemente neste estudo que existe toda uma gama de opções de baixo risco disponíveis para lutar contra a mudança climática. Investir na energia nuclear envolve mais do que riscos sanitários, financeiros e de segurança, já que também pode acabar sendo uma camisa-de-força e um beco-sem-saída. Vinte anos depois do desastre nuclear de Tchernobil, deve ser rejeitada qualquer tentativa da indústria nuclear no sentido de se ressuscitar, pintada de solução para a mudança climática. As autoridades no mundo inteiro devem ouvir a opinião pública, que majoritariamente resiste ao uso da energia nuclear.

Estamos convencidos que a energia nuclear não é resposta para a mudança climática. Um renascimento míope da energia nuclear exigiria imensos investimentos públicos, que seriam mais bem investidos no desenvolvimento e emprego de tecnologias para energias renováveis e de medidas para maior eficiência energética.

Por isso, apresentamos este Estudo sobre Questões Nucleares (Nuclear Issues Paper) como contribuição para o debate público sobre respostas apropriadas à mudança climática e sobre o futuro da energia nuclear.

**JÖRG HAAS**

Fundação Heinrich Böll



# 1. INTRODUÇÃO

---

O aquecimento global constitui um dos maiores desafios do Século XXI. Um grande acúmulo de pesquisas e de modelos neste campo demonstra cada vez mais claramente a necessidade de ambiciosas reduções nas emissões, para manter o impacto do aquecimento global dentro de limites ainda toleráveis.

O desafio de uma ambiciosa política para o clima terá especial relevância para o setor energético. As emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis fósseis respondem pela maior parte das emissões de gases de efeito estufa. Por serem necessários grandes cortes nas emissões de CO<sub>2</sub> neste século, o setor energético e em particular o setor de geração de energia elétrica devem passar por uma profunda transição.

Entre as tecnologias que poderiam contribuir para a redução das emissões, a geração de energia nuclear ocupa um papel crucial. O emprego da energia nuclear é alvo de polêmica desde que foi introduzida no mercado de energia. Os riscos relacionados a esta tecnologia vão desde os acidentes desastrosos até o uso militar ou terrorista de materiais nucleares produzidos na cadeia nuclear. A geração da energia nuclear estagnou depois do desastre de Chernobyl e de outros acidentes. Além disto, depois da liberalização dos mercados de energia na maioria dos países membros da OCDE, muitas usinas nucleares passaram por sérios apuros e novos investimentos na energia nuclear eram antieconômicos para muitos investidores. Mesmo assim, o debate emergente sobre a mudança climática voltou a colocar de vez na agenda o debate sobre a energia nuclear. Especialmente depois que a União Européia introduziu um esquema de troca de emissões e a emissão de CO<sub>2</sub> deixou de ser gratuita, a energia nuclear vem sendo apresentada cada vez mais como uma tecnologia chave no elenco de opções para a redução de emissões.

Uma política de mudança climática que combata os riscos do aquecimento global e os riscos específicos da energia nuclear é um terreno complexo, repleto de conflitos. O debate envolve o problema de diferentes padrões de risco, e a questão das alternativas. Os riscos para a saúde, os ecossistemas e as estruturas socioeconômicas devem ser avaliados frente à disponibilidade e aos custos de possíveis alternativas. Neste contexto, as magnitudes das futuras reduções nas emissões assumem um papel vital, junto à contribuição potencial para a redução das emissões. Se fosse necessária apenas uma redução moderada das emissões, ou se houvesse um tremendo potencial de alternativas atraentes, então o debate sobre a energia nuclear seria muito menos pertinente do que nos cenários opostos.

Neste trabalho, procuramos estruturar o debate sobre políticas para a mudança climática e a energia nuclear, além de tirar algumas conclusões a partir de uma gama de publicações e debates. No Capítulo 2, oferecemos uma visão panorâmica da magnitude necessária para as reduções de emissões no futuro e definimos uma base para discutir a energia nuclear no contexto de uma política ambiciosa para o clima. No Capítulo 3 faremos uma projeção, com base na continuidade das atividades atuais, para as emissões de CO<sub>2</sub> e para o desenvolvimento da energia nuclear nas próximas décadas. Esta projeção serve como caso de referência para a discussão que se segue, sobre opções para a redução das emissões. Com este pano de fundo de padrões muito diferenciados de risco para o aquecimento global e a energia nuclear, então, apresentaremos um modelo ilustrativo para a análise e avaliação sistêmicas dos vários tipos de risco no Capítulo 4. No Capítulo 5, descreveremos e avaliaremos as diferentes opções para a redução das emissões em uma perspectiva de longo prazo.

À guisa de exemplo, apresentamos no Capítulo 6 uma experiência de modelagem para uma redução de 80% nas emissões de CO<sub>2</sub> em um país altamente industrializado como a Alemanha. Elaboramos então algumas lições derivadas do exercício e das análises dos capítulos anteriores. No Capítulo 7 concluímos com algumas lições essenciais apreendidas da análise apresentada no texto.

Pelo caráter de longo prazo do problema de aquecimento global, as opções devem ser avaliadas para um longo período de tempo. Limitamos nossa análise a um período até o ano 2050, porque a avaliação da tecnologia e das outras opções passa a ser cada vez mais especulativa na medida em que se estende o período em estudo. Além disto, todas as análises apresentadas no estudo são feitas em escala global. Para muitas das questões levantadas nos diferentes capítulos, seria valiosa uma discussão mais regionalizada, que ensejasse uma compreensão dos avanços e debates que variam muito entre os países e regiões do mundo.

## 2. O DESAFIO DA MUDANÇA CLIMÁTICA

---

A mudança climática global será provavelmente o desafio mais significativo para as políticas energética e ambiental nas próximas décadas. Cada vez mais as provas científicas quanto ao fato e às conseqüências do aquecimento global causado por emissões antropogênicas exigem novos modelos e políticas no campo da energia. Se as emissões de gases de efeito estufa continuarem crescendo e se a concentração destes gases na atmosfera se duplicar (ou mais), surgirão outras interferências mais significativas ainda no sistema climático do planeta.

As emissões de dióxido de carbono a partir da queima de combustíveis fósseis exercem um papel preponderante na mudança climática, sendo responsáveis por quase 80% das emissões globais e constituindo um dos gases de efeito estufa que mais contribuem para o aquecimento global. Embora a concentração de alguns outros gases de efeito estufa tenha aumentado em escala significativa no último século, e apesar de alguns gases terem uma longa vida atmosférica deixando margem para algumas incertezas, as emissões de dióxido de carbono induzidas por seres humanos

**TABELA 1 CONCENTRAÇÕES ATUAIS DE GASES DE EFEITO ESTUFA**

	Concentração Pré-1750	Concentração troposférica atual	PAG (horizonte temporal de 100 anos)	Tempo de vida na atmosfera	Increased radiative forcing
				/ anos	/ W/m2
<b>Concentrações em partes por milhão (ppm)</b>					
Dióxido de Carbono ( CO <sub>2</sub> )	280	374.97	1	variável	1.46
<b>Concentrações em partes por bilhão (ppb)</b>					
Metano (CH <sub>4</sub> )	730/688	1.852/1.730	23	124	0,48
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	270	319	296	1.144	0,15
Ozônio troposférico (O <sub>3</sub> )	25	344	n.d.	horas-dias	0,35
<b>Concentrações em partes por trilhão (ppt)</b>					
CFC-11 (triclorofluorometano) (CCl <sub>3</sub> F)	zero	256/253	4.600	45	0.34 para todos os halocarbonos em seu conjunto, inclusive muitos não relacionados aqui.
(CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub> )	zero	546/542	10.600	100	
CFC-113 (triclorotrifluoroetano) (C <sub>2</sub> Cl <sub>3</sub> F <sub>3</sub> )	zero	80/80	6.000	85	
Tetracloroeto de carbono (CCl <sub>4</sub> )	zero	94/92	1.800	35	
Clorofórmio de metila (CH <sub>3</sub> CCl <sub>3</sub> )	zero	28/28	140	4,8	
HCFC-22 (clorodifluorometano) (CHClF <sub>2</sub> )	zero	15.811	1700	11,9	
HFC-23 (fluorofórmio) (CHF <sub>3</sub> )	zero	1.412	12.000	260	
Perfluoroetano (C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	zero	312	11.900	10.000	
Hexafluoreto de enxofre (SF <sub>6</sub> )	zero	5,2111	22.200	3.200	0,0025
Pentafluoreto de enxofre trifluorometila (SF <sub>5</sub> CF <sub>3</sub> )	zero	0,1213	~ 18.000	~ 3.200 (?)	< 0,0001

**Fonte:** Blasing/Jon (2005)

representam mais da metade do aumento no “radiative forcing”<sup>1</sup> que causa o aquecimento global antropogênico.

A discussão sobre o nível em que as concentrações de gases de efeito estufa devem ser estabilizados “que impeça uma interferência antrópica perigosa no sistema climático” (Artigo 2º da United Nations Framework Convention on Climate Change- UNFCCC ) ainda está em curso. Mesmo assim, a limitação do aumento da temperatura média global a 2 graus Celsius acima dos níveis pré-industriais é visto cada vez mais como limiar para a magnitude de aquecimento global que levará a conseqüências e riscos inaceitáveis para a natureza e para as sociedades humanas.<sup>2</sup> Considerando que a temperatura média global já subiu 0,6°C desde o Século XIX, apenas um aquecimento adicional de 1,4°C é visto como tolerável. Além disto, uma taxa média de aquecimento a longo prazo de 0,2°C por década, no máximo, não deverá ser ultrapassada.<sup>3</sup>

A tradução destas metas em concentrações e em trajetórias de emissões ainda está sujeita a incertezas (por exemplo, à sensibilidade climática) e a um longo debate científico. Os parâmetros que se seguem são essenciais na identificação de medidas que possam limitar o aquecimento global à “janelas climáticas”(“climate windows”) aceitáveis.

- As trajetórias das emissões ao longo do tempo para diferentes gases de efeito estufa e também para outros gases com impactos pelo “radiative forcing” (por exemplo, as emissões de enxofre, já que os aerossóis SO<sub>2</sub> têm um efeito de “refrigeração”), nas quais a taxa de crescimento, o momento de pico e a subsequente taxa de redução possuem particular importância;
- A concentração ou os perfis de “radiative forcing” para os diferentes gases em função das respectivas trajetórias de emissão;
- A sensibilidade climática adotada por modelos recentes varia desde um aumento de temperatura de 1,5º até uma de 4,5º Celsius para duplicar as concentrações de CO<sub>2</sub>, com 2,5º como valor médio. Se for comprovada que a sensibilidade climática

<sup>1</sup> Nota do tradutor: O termo “radiative forcing” foi criado pelo IPCC- Intergovernmental Panel on Climate Change para exprimir o balanço entre a radiação que entra na atmosfera terrestre e é absorvida, e aquela que é refletida pela ação das nuvens, gases e diversos materiais presentes na superfície terrestre. Esta relação é expressa em W/m<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Por exemplo, o Conselho Europeu afirmou “que para alcançar o objetivo final da UNFCCC de impedir uma interferência antrópica perigosa no sistema climático, o aumento total da temperatura global não deve ser maior que 2°C acima dos níveis pré-industriais”.

<sup>3</sup> Ver WGBU (2003+2004).



fica na faixa superior desta variação, serão necessárias reduções de emissões muito mais ambiciosas para alcançar a meta de 2°C indicada acima. Se ficar na faixa inferior, menos restrições se imporão para as futuras emissões. (No entanto, muitos modelos já se baseiam na sensibilidade climática da faixa de 2,5°C a 2,8°C).

Existe um amplo espectro de resultados de exercícios de modelagem visando identificar trajetórias para as emissões aceitáveis, no cenário das restrições para menos de 2°C de aquecimento global. De particular importância para o debate são as estratégias alternativas de redução das emissões para os vários gases ou as variações temporais para a sua implementação.<sup>4</sup> Hare/Meinshausen (2004) indicam que:

- Com a estabilização de concentrações de gases de efeito estufa em 550 ppm do equivalente CO<sub>2</sub> (todos os gases, correspondendo aproximadamente a uma estabilização em 475 ppm de CO<sub>2</sub>), o risco de ultrapassar os 2°C fica entre 68% e 99% (média 85%, ou seja “muito alto” segundo os critérios adotados pelo IPCC).
- Com uma estabilização de concentrações de gases de efeito estufa em 450 ppm do equivalente CO<sub>2</sub> (todos os gases, correspondendo aproximadamente a uma estabilização em 400 ppm de CO<sub>2</sub>), o risco de ultrapassar os 2°C fica entre 26% e 78% (média 47%, ou seja “probabilidade média”).
- Com uma estabilização de concentrações de gases de efeito estufa em 400 ppm do equivalente CO<sub>2</sub> (todos os gases, correspondendo aproximadamente a uma estabilização em 350 ppm de CO<sub>2</sub>), o risco de ultrapassar os 2°C fica entre 2% e 27% (média 27%, ou seja “probabilidade baixa”).

Neste contexto, uma política ambiciosa para o clima deve buscar uma estabilização de concentrações dos gases de efeito estufa entre 400 a 450 ppm (igual a uma estabilização de concentrações de CO<sub>2</sub> de 350 a 400 ppm).<sup>5</sup> Para esta faixa de estabilização das concentrações, as emissões de gases de efeito estufa devem diminuir em aproximadamente 50% até 2050 (comparado com os níveis de 1990).

<sup>4</sup> Para mais discussão sobre os conceitos exemplares de “ação antecipada” ou “resposta retardada”, ver Meinshausen et al. (2005).

<sup>5</sup> Para o debate sobre a ultrapassagem temporária destes níveis e o retorno (“peaking”) posterior, ver Meinshausen (2005).

Mesmo com uma multiplicidade de trajetórias de emissões para alcançar estes níveis de concentração, devem ser consideradas importantes interações entre, por um lado, o ponto em que as crescentes emissões alcançam o pico para depois se voltarem para a redução, e por outro lado, a taxa de redução necessária para atingir a reversão do processo. Meinshausen (2005) demonstra que uma demora de 10 anos na adoção de uma ação global leva à duplicação da taxa necessária de redução das emissões depois do pico, para cortar pela metade as emissões globais de gases de efeito

**TABELA 2 METAS EXEMPLARES PARA A REDUÇÃO DE EMISSÕES, PARA ESTABILIZAR AS EMISSÕES DE CO<sub>2</sub> EM 400, 450 OU 550 PPM, 2020 E 2050**

Nível de Estabilização	Região	Emissões de CO <sub>2</sub>	
		2020	2050
		Comparadas aos níveis de emissões em 1990 (a não ser nos casos indicados)	
400 ppmv CO <sub>2</sub>	Global Anexo I	+10%	-60%
	Não-Anexo I	-25% até -50% Grande desvio da referência na América Latina, Oriente Médio, Ásia Oriental e Ásia com Planejamento Central	-80% até -90% Grande desvio da referência em todas as regiões
450 ppmv CO <sub>2</sub>	Global Anexo I	+30%	-25%
	Não-Anexo I	-10% até -30% Desvio da referência na América Latina, Oriente Médio, Ásia Oriental e Ásia com Planejamento Central	-70% até -90% Grande desvio da referência em todas as regiões
550 ppmv CO <sub>2</sub>	Global Anexo I	+50%	+45%
	Não-Anexo I	-5% até -25% Desvio da referência na América Latina, Oriente Médio e Ásia Oriental	-40% até -80% Desvio da referência na maioria das regiões, particularmente na América Latina e no Oriente Médio

**Fonte:** Ecofys (2004)

estufa, comparadas com as de 1990. Neste contexto, uma “ação antecipada” é necessária não apenas em termos de “aprender fazendo” (“learning by doing”) como também para evitar custos e ônus adicionais durante o período depois do pico das emissões de gases de efeito estufa.

A Tabela 2 indica tetos referenciais para as emissões visando a estabilização das concentrações de CO<sub>2</sub> em vários níveis, diferenciados por grupos de países (países incluídos no Anexo I e os não incluídos no Anexo I da UNFCCC). Se for necessária a estabilização das concentrações de gases de efeito estufa na faixa de 400 a 450 ppm e das de CO<sub>2</sub> entre 350 a 500 ppm, as emissões globais de CO<sub>2</sub> terão que ser reduzidas em aproximadamente 60% até 2050, comparado com os níveis de 1990.

Para os países do Anexo I, seria necessária uma redução de 80% a 90% nas emissões de CO<sub>2</sub>. Mesmo para metas de estabilização menos ambiciosas, as reduções exigidas para os países industrializados chegaram a mais de 70%, com relação aos níveis de 1990.

Além disto, reduções significativas nas emissões teriam que ser alcançadas pelos países em desenvolvimento nesta trajetória de emissões. As emissões de CO<sub>2</sub> poderiam aumentar até 2020 neste cenário exemplar, mas terão que cair significativamente além do horizonte de 2020.

No entanto, a trajetória de emissões de CO<sub>2</sub> para limitar o aquecimento global a 2°C comparado aos níveis pré-industriais depende em grande medida da sensibilidade climática.<sup>6</sup> A Tabela 3 ilustra isto com dados apresentados pelo German Advisory Council on Global Change - WBGU (2003). Ao se presumir uma elevada sensibilidade climática, as emissões acumuladas de CO<sub>2</sub> para o período 2000-2010 serão um quarto do que seriam no caso de uma sensibilidade menor.<sup>7</sup>

Neste contexto, a avaliação da energia nuclear e de outras opções mitigantes deve considerar um quadro de redução rápida e significativa das emissões de CO<sub>2</sub>, alcançando o pico das emissões nos países industrializados nas próximas duas

<sup>6</sup> A sensibilidade climática se expressa como o aumento da temperatura média global no caso de uma duplicação da concentração dos gases de efeito estufa.

<sup>7</sup> Outros autores (por exemplo Meinhausen, 2005) concluem a partir dos resultados de modelagens que alcançar a meta de 2°C apenas será “provável” se as emissões acumuladas de CO<sub>2</sub> dos combustíveis fósseis puderem ser limitadas a 400 bilhões de toneladas métricas de carbono (Gt C) para o período além de 1990. Se as emissões acumuladas entre 1990 e 2000 forem consideradas, isto resultaria em um orçamento remanescente de 333 Gt C (ou aproximadamente 1,221 Gt CO<sub>2</sub>) para as emissões da queima de combustíveis fósseis.

décadas, as emissões globais de CO<sub>2</sub> devem ser reduzidas em 30% a 60% até 2050 e as emissões dos países industrializados devem ser reduzidos em 60% a 90% até 2050. Alcançar o limiar dos 2°C só dever ser visto como “provável” se as trajetórias das emissões ficarem próximas aos limites inferiores das faixas apresentadas.

**TABELA 3 EMISSÕES ACUMULADAS DE CO<sub>2</sub> PARA LIMITAR O AQUECIMENTO GLOBAL A 2°C ACIMA DOS NÍVEIS PRÉ-INDUSTRIAIS**

Grau presumido de sensibilidade climática °C	Emissões acumuladas permitidas de CO <sub>2</sub> 2000-2100	
	bilhões de toneladas métricas de carbono	bilhões de toneladas métricas de CO <sub>2</sub>
1.5	1780.0 - 1950.0	6,527 - 7,150
2.5	850.0 - 910.0	3,117 - 3,337
3.5	530.0 - 560.0	1,943 - 2,053
4.5	380.0	1,393

Fonte: WBGU (2004)

### 3. SE O MODELO NÃO MUDAR (“*BUSINESS AS USUAL*”)

#### A tendência nas emissões de CO<sub>2</sub>

Desde o início do Século XX, as emissões globais de CO<sub>2</sub> cresceram 12 vezes. Enquanto as emissões na América do Norte e da Europa Ocidental do mais importante dos gases de efeito de estufa dominaram a tendência global na primeira metade do sécu-

lo, as emissões dos países socialistas aumentaram muito rapidamente no período pós-guerra. Até a crise do petróleo dos anos 70, os países de planejamento centralizado da Europa chegaram a responder por 22% das emissões globais de CO<sub>2</sub> decorrente da queima de combustíveis, a Europa Ocidental por 23% e a América do Norte por 32%.

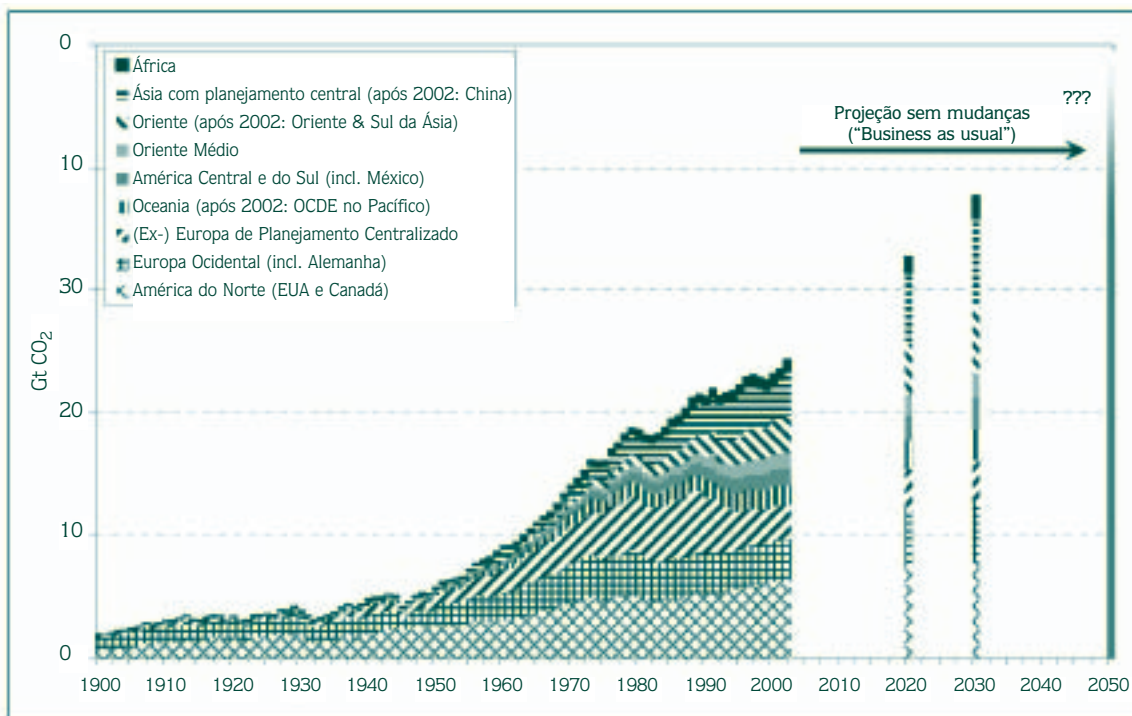
As tendências mais significativas nas emissões globais de CO<sub>2</sub> a partir dos anos 80 são:

- O crescimento constante das emissões na América do Norte;
- A tendência mais ou menos estagnada nas emissões da Europa Ocidental;
- A queda abrupta das emissões de CO<sub>2</sub> com o colapso dos países de planejamento centralizado na Europa; e
- As crescentes emissões em países de planejamento centralizado da Ásia (principalmente a China) e em outras economias emergentes do Oriente.

Em 2002, a participação da América do Norte nas emissões globais de CO<sub>2</sub> foi de apenas 26%. A participação da Europa Ocidental (14%) era comparável com a dos países de planejamento centralizado na Ásia (15%) e um pouco maior do que a das economias em transição (12%).

Mesmo assim, as emissões acumuladas da América do Norte e da Europa Ocidental responderam pela maior parte das emissões de CO<sub>2</sub> no período 1900 a 2002. As emissões totais de CO<sub>2</sub> neste período somaram 1.012 bilhão de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>). A participação das várias regiões nas emissões acumuladas é parecida à situação das emissões do ano 1970. Os países da América do Norte respondem por cerca de 32% do total das emissões acumuladas de CO<sub>2</sub>. A Europa Ocidental representa uma fração de 22% e os ex-países socialistas da Europa entram com 18%. A participação da Ásia com planejamento centralizado e dos outros países orientais ainda fica baixa, com 8% e 5% respectivamente.

**Figura 1.** EMISSÕES GLOBAIS PROVENIENTES DE CO<sub>2</sub> DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEIS, 1900-2050



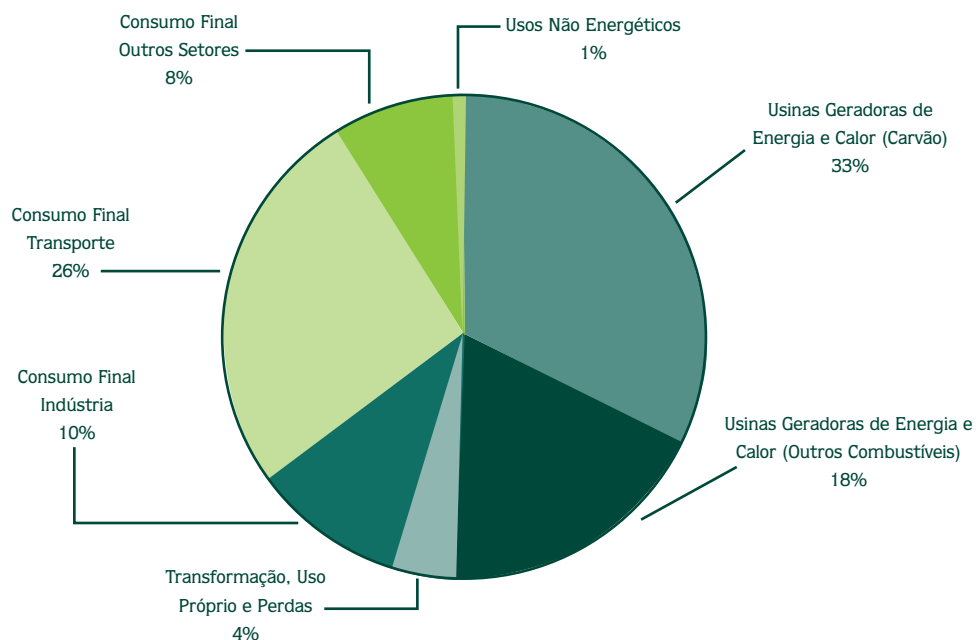
**Fonte:** Marland et al. (2005), AIE (2004), cálculos do autor

A projeção da Agência Internacional de Energia (AIE 2004) com base no caso de referência prevê a continuação das tendências recentes:

- As emissões globais de CO<sub>2</sub> da queima de combustíveis cresce 62% no período 2002-2030;
- O aumento nas emissões de CO<sub>2</sub> para os países da OCDE na América do Norte chega a 33%;

- As emissões na Europa Ocidental e na União Européia podem crescer cerca de 20%;
- As emissões nos países da OCDE na região Ásia e Pacífico também aumentam em cerca de 20%;
- As emissões de CO<sub>2</sub> nas economias em transição (especialmente a Rússia) voltam a aumentar em 40%;
- As emissões de CO<sub>2</sub> em muitos países em desenvolvimento (China, Índia, Indonésia, Brasil, etc.) aumentam entre 20% e 60%.

**Figura 2.** CONTRIBUIÇÕES POR SETORES AO CRESCIMENTO DAS EMISSÕES GLOBAIS DE CO<sub>2</sub> PROVENIENTES DA QUEIMA DE COMBUSTÍVEL, 2002-2030



Fonte: AIE (2004), cálculos do autor

A Figura 2 indica setores chaves para o crescimento das emissões na projeção da AIE. Metade do crescimento nas emissões projetadas para o período 2002 a 2030 tem origem no setor energético, e sendo um terço da geração de energia com carvão. O segundo setor chave é o transporte, que responde por 26% do crescimento das emissões. Embora todos os setores devam se sujeitar a medidas de redução das emissões, os setores de transportes e de geração de energia devem assumir papéis destacados em qualquer estratégia de redução de emissões.

Comparada com os totais de emissão mencionados no Capítulo 2, a tendência das emissões na projeção de caso de referência feita pela AIE dificilmente se enquadra em qualquer trajetória de emissões que cumpra com a meta de 2°C, se a sensibilidade climática for maior do que 2,5°C. Se a sensibilidade climática for perto de 2,5°C, as tendências das emissões terão que assumir uma tendência de queda rápida imediatamente depois de 2030, para ter alguma possibilidade de limitar o aquecimento global a 2°C acima dos níveis pré-industriais (Tabela 4).

**TABELA 4 EMISSÕES ACUMULADAS DE CO<sub>2</sub> PARA LIMITAR O AQUECIMENTO GLOBAL A 2°C ACIMA DOS NÍVEIS PRÉ-INDUSTRIAIS, E O CASO DE REFERÊNCIA PARA AS TENDÊNCIAS DE EMISSÃO DE CO<sub>2</sub> ATÉ 2030**

Sensibilidade climática presumida °C	Emissões acumuladas de CO <sub>2</sub> permitidas de 2000 a 2100	Emissões Acumuladas de CO <sub>2</sub> 2000-2030	Orçamento de emissão remanescente
	Bilhões de toneladas métricas de CO <sub>2</sub>		
1,5	6.527 - 7.150	~ 900	86% - 87%
2,5	3.117 - 3.337	~ 900	71% - 73%
3,5	1.943 - 2.053	~ 900	54% - 56%
4,5	1.393	~ 900	35%

**Fonte:** WBGU (2004), AIE (2004), cálculos do autor.



Mesmo que a projeção se baseie em outra dinâmica de crescimento das emissões nas regiões do mundo, as “responsabilidades históricas” em termos da acumulação de emissões de CO<sub>2</sub> mudariam pouco. Os países da América do Norte respondem por 28% do total das emissões de CO<sub>2</sub> acumuladas no período 1900 a 2030, a Europa Ocidental por 18% e os ex-países socialistas da Europa por 14%. Os países que mais crescem na Ásia e no Extremo Oriente ainda representariam 12% e 9% das emissões globais de CO<sub>2</sub> acumuladas no período 1900 a 2030.

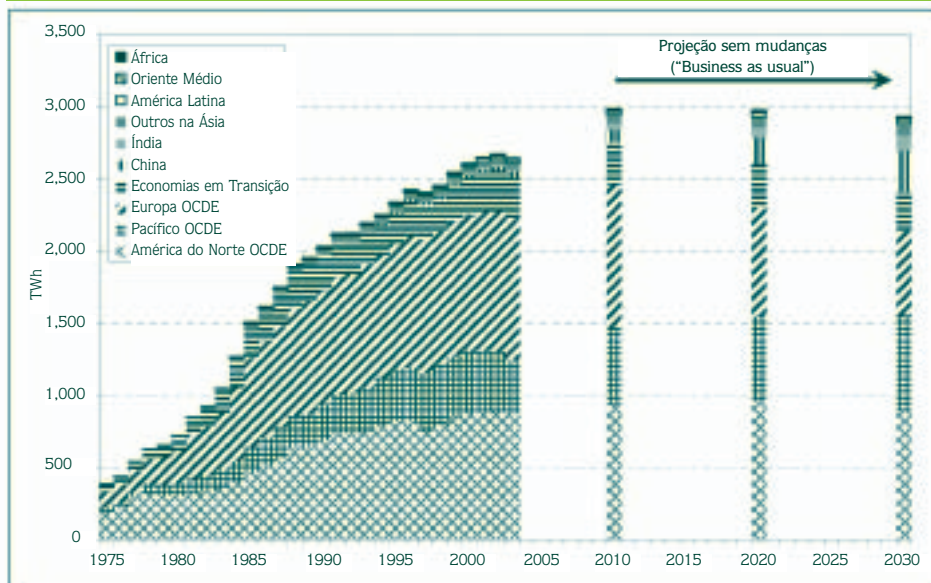
### **Geração de energia nuclear**

Contrastando com a demanda global por energia e as emissões globais de CO<sub>2</sub>, o desenvolvimento da energia nuclear se deu basicamente nos países da OCDE e nos países socialistas europeus, hoje em transição. O forte crescimento na geração de energia nuclear dos anos 70 e 80 diminuiu significativamente depois do desastre de Tchernobil. Há pouco crescimento nos anos desde 2000. A participação da energia nuclear foi 22% em 2003 nos países da OCDE e 6% para os países não-membros da OCDE. Poucos países produzem mais do que um terço de sua energia elétrica com a energia nuclear, incluídos países da OCDE (França, Suécia, Bélgica, Hungria, Coreia, Eslováquia e Suíça) e também alguns países com economias em transição (Bulgária, Eslovênia, Armênia, Lituânia e Ucrânia).

As principais razões pela dinâmica declinante no setor de energia nuclear em muitas regiões do mundo se encontram entre os seguintes fatores:

- Maior resistência do público contra a energia nuclear em muitos países, particularmente com relação a grandes acidentes nucleares, a disposição dos resíduos radioativos, o transporte do material nuclear e os problemas de proliferação e terrorismo;
- Os problemas econômicos enfrentados pelas usinas nucleares depois da liberaliza-

**Figura 3.** GERAÇÃO DE ENERGIA NUCLEAR, 1975-2030



Fonte: AIE (2004+2005)

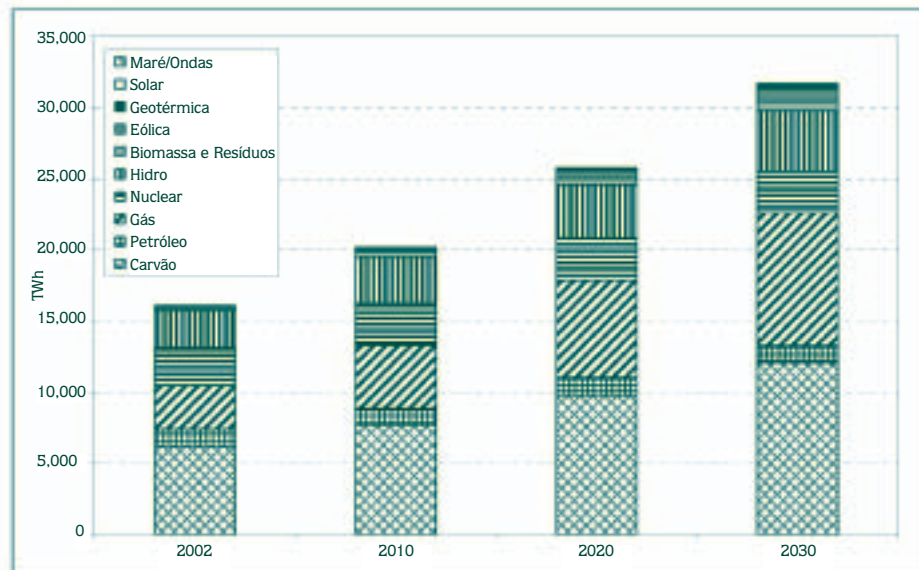
ção dos mercados de energia elétrica em alguns países da OCDE, inclusive o problema de financiar a desativação das usinas e a disposição dos resíduos;

- Maior rigor nas exigências e normas de segurança para usinas nucleares novas e existentes; e
- O preço relativamente baixo dos combustíveis fósseis e grandes avanços em tecnologias concorrentes para a produção de energia elétrica.

A projeção do caso de referência para a geração de energia nuclear indica um pequeno crescimento até 2010 e uma pequena redução durante as duas décadas a partir de 2010. Esta tendência surge de três tendências diferentes. Particularmente nos países europeus da OCDE, se presume uma forte redução

na produção de energia nuclear. Nestes países e na União Européia a produção de energia elétrica deve diminuir em 40% nas próximas três décadas. Na América do Norte e nas economias em transição, se supõe que a produção de energia nuclear está mais ou menos estagnada. Porém nos países asiáticos da OCDE e em alguns países em desenvolvimento, a AIE (2004) prevê um grande aumento na produção de energia nuclear. nos países asiáticos da OCDE este aumento é projetado para alcançar 60%. A partir de níveis muito baixos, a produção de energia nuclear na China deve aumentar 10 vezes, e na Índia 4,8 vezes. Para outros países em desenvolvimento projeta-se um crescimento menor, porém significativo, na energia nuclear (América Latina + 38% para 2002-2030, e na África + 18%).

**Figura 4.** PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO CASO DE NÃO HAVER MUDANÇAS (“BUSINESS AS USUAL”), 2002-2020



Fonte: AIE (2004)

Mesmo prevendo um pequeno aumento na geração de energia nuclear, para o World Energy Outlook a participação da energia nuclear no total da geração deverá diminuir de maneira significativa. Em 2002 sua participação era 17%, e até 2030 este percentual cairá para apenas 9%. Mesmo na China, o país onde a energia nuclear mais cresce, ela contribuirá apenas 5% do total de energia gerada. O maior crescimento na geração de energia elétrica, segundo o World Energy Outlook 2004, será da energia produzida com carvão e gás natural.

Embora também se preveja um forte crescimento para a energia elétrica gerada de fontes renováveis, estas fontes (a não ser as hidrelétricas) terão um papel menos importante, segundo a projeção do caso de referência esboçada pela AIE.

## 4. A GESTÃO DE ESTRUTURAS DE RISCO COMPLEXAS

---

Os riscos do aquecimento global e os riscos relacionados à energia nuclear constituem uma área de conflito, que carece de uma abordagem mais sistêmica na avaliação das diferentes ordens de risco, para permitir a elaboração de diretrizes e de estratégias.

O German Advisory Council on Global Change-WBGU (Conselho Assessor Alemão sobre a Mudança Global) propôs um modelo que permite a comparação e a avaliação dos diversos riscos. No modelo do WBGU, os riscos devem ser categorizados pelos seguintes critérios (WBGU 2000):

- A probabilidade de ocorrência
- A extensão do dano
- A certeza da avaliação da probabilidade e da extensão do dano
- A ubiqüidade (impacto global)

- A persistência (períodos muito longos para a remoção)
- A irreversibilidade (danos não são reversíveis)
- Os impactos retardados (lapsos temporais muito longos)
- O potencial de mobilização (alta relevância psicológica e política)

Com base nestes critérios, os riscos podem ser agregados em diferentes “áreas”. Os riscos da “área normal” se caracterizam pelos seguintes atributos (WBGU 2000):

- Baixo grau de incertezas quanto a distribuição provável do dano;
- Pequeno potencial geral catastrófico;
- Incerteza baixa a média quanto à probabilidade e à magnitude do dano;
- Baixos níveis de persistência e de ubiquidade (alcance temporal e espacial);
- Alto grau de reversibilidade dos potenciais danos; e
- Baixo potencial de conflito e mobilização sociais.

É mais problemática a situação da área crítica, que consiste de uma “área de transição” e uma “área proibida”. Os riscos na “área crítica” possuem ao menos uma das seguintes características (WBGU 2000):

- Alto grau de incerteza para todos os parâmetros de risco;
- Alto potencial de dano;
- Alta probabilidade de ocorrência (próximo a 1);
- Alto grau de incerteza na avaliação, porém com fundamentos consistentes para supor que grandes danos são possíveis;

- Alta persistência, ubiqüidade e grau de irreversibilidade, com fundamentos consistentes para supor a possibilidade de dano;
- Expectativa de grande potencial de mobilização (recusa, protestos, resistência) por causa da percepção de injustiças distributivas ou por outros fatores sociais ou psicológicos.

A diferenciação entre a “área de transição” e a “área proibida” se fundamenta na possibilidade de reduzir o risco ou de construir um consenso pelo qual as oportunidades superam os danos (WBGU 2000):

- Se forem possíveis medidas de redução do risco cuja implementação promete uma transição para um risco da “área normal”, o risco deve ser visto na “área de transição”.
- Se a extensão dos danos for tão grave e não se pode construir um consenso na sociedade de modo que os riscos sejam aceitos devido às oportunidades associadas, o risco deve ser considerado como pertencendo à “área proibida”.

Neste contexto, são as seguintes as perguntas chaves sobre todos os riscos a serem alocados nas áreas críticas:

- Existem ou estão em gestão medidas que possam reduzir a extensão do dano com alto grau de certeza no futuro previsível até o ponto de caber na “área normal”? Se não, todos os esforços devem ser feitos para substituir a tecnologia em questão, etc.
- Existe um consenso na sociedade ou poderia ser construído tal consenso, que aceitasse os riscos de graves danos devido às oportunidades associadas para a sociedade? Se não, todos os esforços devem ser feitos para substituir a tecnologia em questão, etc. Esta dimensão é de particular complexidade, quando o problema é alcançar uma forte dimensão internacional e intergerações, na ausência de bases institucionais que expressem um consenso da sociedade neste sentido.

**TABELA 5 VISÃO GERAL DAS CLASSES DE RISCO: CARACTERIZAÇÃO E EXEMPLOS CONCRETOS**

Classe de risco	Caracterização	Exemplos
Dâmocles	Baixa probabilidade de ocorrência	Energia Nuclear
	Alto grau de certeza na avaliação da probabilidade	Grandes indústrias químicas
	Alta extensão de danos	Barragens
	Alto grau de certeza na avaliação da extensão dos danos	Inundações
		Impactos de meteoros
Cyclops	Probabilidade de ocorrência desconhecida	Terremotos
	Alta extensão de danos	Erupções vulcânicas
	Grau de certeza na avaliação da extensão dos danos tende a ser alto	Infecção por AIDS
	Confiabilidade da estimativa da probabilidade desconhecida	Colapso da circulação termohalina
		Sistemas de alerta avançado e sistemas de armas NBQ
	Desenvolvimento em massa de espécies antropogenicamente influenciadas	
Pythia	Probabilidade de ocorrência desconhecida	Aquecimento global retro-alimentado
	Extensão de danos desconhecida (apenas como presunções)	Liberação e entrada em circulação de infecção BSE/nv-CJD
	Extensão de danos desconhecida (potencialmente alta)	Certas aplicações da engenharia genética
	Grau de certeza na avaliação da extensão de danos desconhecido	Instabilidade das camadas de gelo na Antártida Ocidental
	Grau de certeza na avaliação da probabilidade desconhecido	
Pandora	Probabilidade de ocorrência desconhecida	Poluentes orgânicos persistentes (POPs)
	Persistência alta (várias gerações)	Disruptores hormonais

	Extensão de danos desconhecida (apenas como presunções)	
	Grau de certeza na avaliação da extensão de danos desconhecido	
	Grau de certeza na avaliação da probabilidade desconhecido	
<b>Cassandra</b>	Probabilidade de ocorrência tende a ser alta	Mudança climática paulatina antropogênica
	Extensão de danos alta	Desestabilização de ecossistemas terrestres
	Longa demora para aparecerem conseqüências	
	Grau de certeza na avaliação da extensão de danos tende a ser alto	
	Grau de certeza na avaliação da probabilidade tende a ser baixo	
<b>Medusa</b>	Probabilidade de ocorrência tende a ser baixa	Campos eletromagnéticos
	Extensão de danos baixa (alta exposição)	
	Alto potencial de mobilização	
	Grau de certeza na avaliação da extensão de danos tende a ser alto	
	Grau de certeza na avaliação da probabilidade tende a ser baixo	

**Fonte:** WBGU (2000)

Além dos critérios de categorização dos riscos, o WBGU introduziu várias classes de risco, indicando as dimensões para um par de riscos ambientais e outros. A Tabela 5 apresenta uma visão geral das classes de risco 'Dámocles', 'Cyclops', 'Pythia', 'Pandora', 'Cassandra' e 'Medusa'.

São de particular relevância para o debate sobre energia nuclear e clima as classes de risco "Cassandra" e "Dámocles". Em uma perspectiva dinâmica, o WBGU

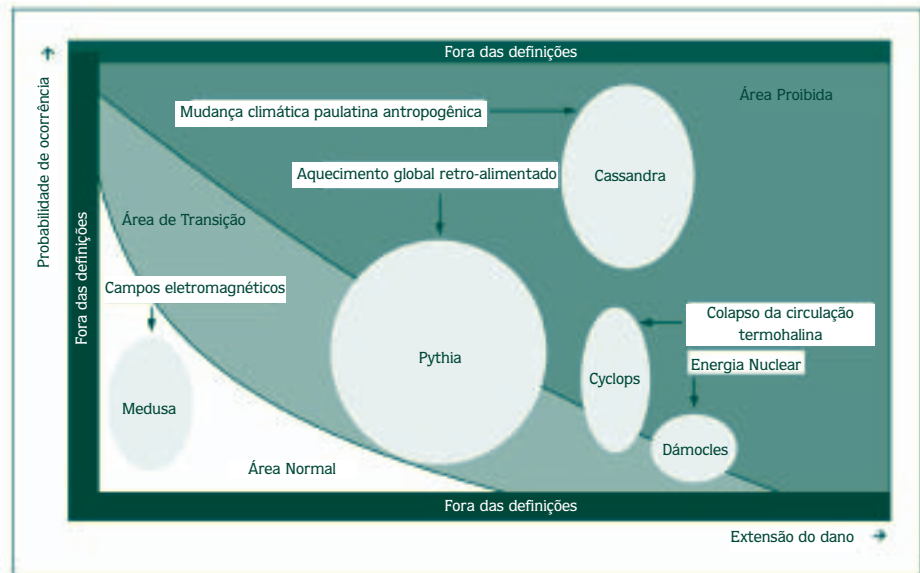


trabalha por medidas de precaução na política de clima e pela adoção de grandes esforços para conter o risco tipo “Cassandra” de aquecimento global (ver a Figura 5) dentro de limites toleráveis:

- O aumento da temperatura média global deve ser limitado a 2°C acima dos níveis pré-industriais.
- A taxa de elevação da temperatura deve ser inferior a 0,2°C por década.

Sobre o risco “Dâmocles” da energia nuclear, o WBGU afirma: “Se os melhores esforços não puderem reduzir de maneira expediente o potencial catastrófico ou se só puderem fazê-lo a um custo exorbitante, então ... este tipo de fonte de risco de-

**Figura 5.** CLASSES DE RISCO E SUA INSERÇÃO NAS ÁREAS NORMAL, DE TRANSIÇÃO E PROIBIDA



**Fonte:** WBGU (2000).

veria ser aprovada somente sob duas condições: primeiro se a utilidade desta fonte de risco for de importância existencial e, segundo, se for possível garantir que todas as opções tecnológicas, institucionais e organizacionais sejam exploradas para garantir que o evento catastrófico simplesmente não ocorra e, se viesse a ocorrer, que os danos sejam mitigados na medida do possível. Esta segunda condição ganhará particular relevância se estas fontes de risco forem exportadas via transferência de tecnologias para outros países.”

Por isso, a avaliação da situação da energia nuclear é complexa:

- Uma primeira questão chave é se existe todo o conjunto de opções tecnológicas, institucionais e de organização para transformar o risco “Dâmocles” em “Medusa”, ou seja para limitar os danos e manter baixa a probabilidade de sua ocorrência. Estas opções devem ser avaliadas com relação ao uso atual da energia nuclear e ao uso de energia nuclear em escala muito maior em qualquer região do mundo.
- A segunda questão é se a energia nuclear poderia ser um componente existencial na substituição de risco com relação ao aquecimento global, ou seja, a substituição de um risco tipo “Cassandra” que definitivamente pertence à “área proibida”.

Com as modernas tecnologias nos reatores, a extensão do dano (em acidentes grandes, ataques terroristas, manejo e disposição de materiais radioativos, etc.) definitivamente não pode ser limitada à faixa exigida pela “área normal”. Além disto, persistem grandes incertezas sobre a capacidade de futuras gerações de reatores cumprirem com as exigências mencionadas acima e sobre a estreita relação entre os riscos da energia nuclear, por um lado, e outros riscos de instabilidade social, política e institucional.

Neste contexto, a primeira pergunta decisiva sobre o futuro da energia nuclear no sistema energético global é se existem opções alternativas que garantam um volume adequado de serviços energéticos em escala global, dentro das fortes limitações à emissão de gases de efeito estufa. A segunda é se e como o risco de mudança

climática poderá ser contido dentro de limites aceitáveis, sem lançar mão da energia nuclear, e se este objetivo pode ser alcançado sem conseqüências inaceitáveis (em termos de custos, aceitação e outros riscos).

## 5. OPÇÕES PARA A MITIGAÇÃO

---

### Comentários preliminares

Um amplo corpo de análises científicas sobre estratégias para reduzir emissões e assim estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera demonstra que não há uma opção única capaz de suprir toda a redução necessária. No entanto, a contribuição das diferentes opções vai depender, em grande medida, do nível de estabilização da concentração. Se forem estabelecidas metas menos ambiciosas para a redução, haveria uma grande flexibilidade quanto ao alcance que as diferentes opções tecnológicas poderiam alcançar. Nesse cenário seria muito mais fácil abandonar o uso da energia nuclear, pelas razões discutidas no capítulo anterior.

O “mix” de tecnologias para as estratégias de redução de gases de efeito estufa foi analisado com muitas e variadas abordagens metodológicas, por exemplo no III Relatório de Avaliação do IPCC (2001), além de outros estudos (p. ex. Schrattenholzer et al., 2004, WBGU 2004).

Nesta análise, nos referimos a esses estudos com uma abordagem simples. Presume-se que no caso de continuidade, sem mudanças no modelo (ou “Business as Usual”, sigla BAU), as emissões globais de CO<sub>2</sub> da queima de combustíveis vão aumen-

tar de 40 a 50 bilhões de toneladas por ano até o ano 2050, e que a redução necessária para estabilizar as emissões de CO<sub>2</sub> em um nível no qual a meta de 2°C possa ser alcançada fica de 30% a 60% abaixo dos níveis de 1990, então o lapso a ser compensado com opções de mitigação será de 25 a 40 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> no ano 2050. Com um modelo simplificado, presumimos uma tendência linear e não levamos em conta diferentes opções temporais de pico de emissões ou de trajetórias de redução depois do pico, que poderiam ser caracterizadas por diferentes gradientes de redução das emissões. Usamos o modelo simplificado para demonstrar as contribuições potenciais, além das potenciais interações entre diferentes agrupamentos de estratégias de abatimento, ou redução.

### **Energia nuclear**

442 reatores com capacidade total de 368,6 GW operavam no mundo para produzir energia em 2004. A grande maioria destes reatores são de água leve, com diferentes concepções. Em 2003, 15,7% da produção global de energia elétrica era gerada em usinas nucleares. A participação da energia nuclear varia significativamente entre os países dentro e fora da OCDE. Os países da OCDE geraram aproximadamente 2.223 TWh com suas usinas nucleares em 2003, respondendo por 22,3% nesse ano. A geração de energia nuclear em países fora da OCDE em 2003 chegou a 412 TWh, uma participação de apenas 6%.

A projeção de continuidade (BAU) para a OCDE indica um crescimento lento na geração de energia nuclear até 2030. O aumento da capacidade total de 359 GW em 2002 para 376 GW em 2030 corresponde a um crescimento líquido de 600 MW por ano, na média. Ou seja, a cada dois anos é inaugurada uma nova usina nuclear com uma capacidade de 1.200 MW, para seguir esta trajetória. Considerando o perfil da idade das usinas nucleares existentes, porém, uma média de 4 a 5 GW de nova capaci-

dade de geração nuclear (o que representa 3 ou 4 grandes usinas) terá que entrar em operação a cada ano.

A contribuição potencial da energia nuclear para alcançar as metas de redução das emissões foi avaliada em vários estudos.

- Uma expansão de dez vezes na produção de energia nuclear no período 2000-2075 (van der Zwaan, 2002) indicaria uma capacidade nuclear global de 2.050 GW, com uma produção de 17.283 TWh, em 2050. Isto seria seis vezes mais do que a energia a ser gerada no caso 'BAU'. Na média, 35 GW de capacidade nuclear teria que ser agregada por ano até o ano 2050. Este aumento na produção de energia nuclear substituiria não apenas o carvão como uma grande parte da geração de energia elétrica por gás. Se for adotado este cenário extremo, e obviamente irreal, haveria uma redução de 9.700 Mt nas emissões de CO<sub>2</sub> no ano 2050.
- Pacala/Socolow (2004) sugerem uma expansão de 700 GW até meados deste século, equivalente a triplicar a capacidade atual. Considerando a necessidade de substituição de usinas hoje em operação, na média 25 GW de capacidade nova teria que entrar em operação por ano para alcançar a capacidade de 1.060 GW para o conjunto das usinas nucleares em 2050. A produção total de energia elétrica chegaria a 8.260 TWh neste caso, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub> em 7.000 Mt no ano 2050, se fossem substituídas apenas as usinas movidas a carvão. No caso da substituição de um "mix" de usinas a carvão e a gás por novas usinas nucleares, a contribuição para a redução das emissões chegaria a 5.000 Mt CO<sub>2</sub> no ano 2050.

A história da energia nuclear sugere que os dois cenários são muito irrealistas. Os grandes riscos e preocupações com relação à energia nuclear, no entanto, deveriam ser refletidos nos dois cenários. Além disto, devemos destacar que estes cenários implicam uma expansão significativa da participação da energia nuclear na geração

total de eletricidade, em países e regiões onde o papel da energia nuclear hoje é nulo ou pouco relevante. Uma expansão de três a seis vezes na geração de energia nuclear na América do Norte, na Europa ou no Japão não será viável, devido à grande participação atual da energia nuclear nas matrizes energéticas desses países.

O risco principal dos reatores nucleares é um grande acidente com grande liberação de radiação. Estas liberações radioativas prejudicam muito a saúde, os ecossistemas e os sistemas sócio-econômicos (PNUD/UNICEF, 2002). A grande maioria das usinas existentes e, nos próximos 30 anos, a grande maioria de novas usinas nucleares seriam reatores de água leve, a serem projetadas evolutivamente com base nos conceitos atuais de reatores. Para todos estes reatores, falhas muito graves e inerentes de segurança devem ser reconhecidas (Froggatt, 2005).

Mesmo que a probabilidade de um acidente desastroso pareça muito baixa em termos específicos<sup>8</sup>, a multiplicação da geração de energia nuclear por três ou seis vezes nos próximos 50 anos elevaria enormemente o risco de um ou mais acidentes desastrosos. Exercícios de modelagem sobre as conseqüências econômicas de um grande acidente em uma usina nuclear alemã demonstram que o custo total de tal desastre poderia somar de 2 a 5 US\$ trilhões (Ewers/Rennings, 1991+1994).

Além dos reatores a água leve, vários outros conceitos de reator estão em diversas etapas de desenvolvimento e implementação. A cada um destes “conceitos evolucionários” (chamados de “reatores de 3ª geração”), correspondem grandes riscos inerentes, para cenários de acidentes que incluem a liberação maciça de material radioativo. Em alguns países há pesquisas incipientes para desenvolver “conceitos revolucionários de reatores” (chamados de “reatores de 4ª geração”) que serão muito mais seguros, confiáveis e econômicos do que os reatores da 3ª geração, e ao mesmo tempo resistentes à proliferação, etc. (NERAC 2002). O exame mais detalhado dos conceitos técnicos revela que muitos problemas de segurança continuam completamente sem solução, além de haver evidência empírica que sugerem que a melhora da

<sup>8</sup> Sailor et al. (2000) se refer a um risco de acidente com grande liberação externa de atividade de aproximadamente 10-5 a 10-6 por reator, por ano. A possibilidade de ataques terroristas propositais, no entanto, não foi levado em conta na época desse estudo.

segurança em certos aspectos poderia criar novos problemas de segurança. Finalmente, mas não menos importante, continua totalmente sem solução a dúvida quanto ao necessário equilíbrio entre maior segurança e menores investimentos e custos operacionais. O desenvolvimento da nova geração de reatores, diga-se de passagem, ainda exigirá enormes investimentos e o resultado continua incerto. Os reatores de 4ª geração, se é que um dia forem entrar em operação, não estarão disponíveis por pelo menos nos próximos 20 a 30 anos. Se, e de que maneira, esses reatores responderão à ameaça de ataques terroristas intencionais (inclusive choques de aviões) continua uma incógnita. Outros problemas análogos poderiam surgir com a expansão de usinas nucleares para países ou regiões onde o risco de conflito militar é muito maior do que naqueles países e regiões onde a maioria das usinas atuais estão em operação.

A disponibilidade do combustível nuclear será uma grande pré-condição para as usinas nucleares poderem contribuir em peso para as metas de redução de emissões até 2050. Hoje, a demanda anual por combustível nuclear está em torno de 70.000 toneladas de urânio. Para expandir a produção de três a seis vezes em um prazo relativamente curto, a demanda por combustível nuclear aumentaria também várias vezes, mesmo no caso de ganhos significativos de eficiência no uso do combustível. A oferta de combustível nuclear dependeria da expansão de recursos especulativos (não descobertos) em poucas décadas (ver Kreuzsch et al., 2005). A capacidade de mineração de urânio teria que crescer substancialmente, em um processo que pode demorar muitos anos, com base na experiência histórica<sup>9</sup>. Além disto, teriam que ser criada muito mais capacidade de enriquecimento. Lovins (2005) informa que 15 novas usinas de enriquecimento de urânio terão que ser construídas para usinas nucleares adicionais de 700 GW.

Neste contexto, Rothwell/van der Zwaan (2003) classificam os reatores a água leve como não-sustentáveis, pelo critério de esgotamento de recursos não-renováveis. Ao mesmo tempo, os planos para os reatores de 4ª geração apontam claramente o

<sup>9</sup> Price et al. (2004), em uma visão panorâmica de projetos de mineração, informam que o prazo do começo da exploração e o início da produção foi de 20 a 30 anos, e que o prazo entre a descoberta do depósito e o início da produção era de 10 a 20 anos.

problema de recursos finitos de combustíveis, para os reatores a água leve (NERAC, 2002). Se a disponibilidade (e o custo) do combustível nuclear para reatores a água leve for considerada problemática, então os ciclos de combustível sem reprocessamento (“once-through”) terão pouca importância no futuro. Hoje, os ciclos “once-through” são a opção preferida por conta dos custos reduzidos e da exclusão de riscos relacionados ao reprocessamento do combustível gasto. Se bem que os conceitos dos reatores de 4ª geração continuam em grande medida especulativos, sua ênfase em “ciclos de combustível fechados” traz novamente à pauta a introdução em grande escala de reatores regenerativos (“fast breeders”) e o reprocessamento do combustível gasto (NERAC, 2002). Se a cadeia da tecnologia nuclear se estender até os reatores regenerativos e as usinas de reprocessamento (junto com novas necessidades de transporte), aumentarão significativamente os riscos de acidentes, junto com a vulnerabilidade ao atentados terroristas e conflitos militares. Lovins (2005) ilustra a dimensão do reprocessamento com o caso de usinas nucleares adicionais de 700 GW, que precisariam de em torno de 50 novas usinas de reprocessamento, ao redor do mundo.

O desafio da proliferação vem ganhando projeção desde o final da Guerra Fria. Problemas concretos da não-proliferação (Irã, Coréia do Norte) indicam que com a expansão da energia nuclear – inclusive em escala regional – podem surgir riscos adicionais (Nassauer, 2005). Um sistema elétrico com a capacidade nuclear de 1.000 GW, com reatores de água leve, produziria aproximadamente 290 t de plutônio (Pu) por ano. No caso de uma capacidade nuclear total de 2.000 GW em 2050, a produção anual de plutônio alcançaria 560 t. Esse volume de material físsil levantaria graves problemas para conter a proliferação, exigindo outra escala de qualidade nos regimes internacionais de salvaguardas. Se os ciclos de combustível sem reprocessamento fossem substituídos por ciclos fechados, com o reprocessamento e separação do plutônio, surgiriam graves ameaças à segurança internacional, tanto pelo volume de plutônio a ser processado como pelas regiões onde seriam geradas quantias significa-



tivas de plutônio. Além disto, seria um erro supor que o risco da proliferação cairia para um nível zero ou irrisório, consideração esta que também se aplica aos conceitos de reatores de 4ª geração.

Apesar de vários estudos realizados para identificar e demonstrar a confiabilidade a longo prazo dos depósitos finais, nenhum país achou uma solução permanente para a disposição final dos resíduos nucleares. A pesquisa para desenvolver depósitos finais, assim como os procedimentos para a participação do público ou esforços para ganhar a aceitação pelo público dos locais escolhidos para a disposição dos resíduos nucleares estão cada vez mais presentes (Kreusch et al., 2005). Se o volume de resíduos nucleares crescesse de maneira significativa, o lapso entre a geração de resíduos com alto nível de radioatividade e a disponibilidade de locais para disposição ficaria cada vez maior. Van der Zwaan (2002) exemplifica com o caso da duplicação da geração de energia nuclear nos EUA, que exigiria uma capacidade adicional de disposição equivalente a um novo projeto Yucca Mountain a cada 25 anos. Segundo Lovins (2005), o acréscimo de 700 GW de capacidade de geração de energia nuclear exigiria depósitos com a capacidade de 14 projetos na escala de Yucca Mountain.

Por último, porém não menos importante, a viabilidade econômica da geração de energia nuclear será decisiva para a sua participação em uma estratégia ambiciosa para o clima. Se não houver um preço para o CO<sub>2</sub> (seja com um imposto ao carbono, seja como parte de um esquema de troca de emissões), é pouco provável que a energia nuclear possa concorrer em mercados competitivos (Thomas, 2005). Mesmo assim, a introdução gradual de instrumentos de mercado para políticas de clima (por exemplo o esquema da União Européia de troca de emissões) mudaria esta situação de certa maneira. O nível dos preços de CO<sub>2</sub> – que poderia melhorar significativamente o desempenho econômico de novas usinas nucleares – continua cercado de polêmica. Sailor et al. (2000) se refere a um preço de carbono de aproximadamente 100 US\$/tC (27 US\$/t CO<sub>2</sub>), que seria o nível necessário para novas usinas nucleares

serem competitivas no mercado. Outras avaliações oferecem limiares bem mais altos para garantir a competitividade da geração de energia nuclear. Por outro lado, deve ser lembrado que muitos outros fatores distorcem a avaliação econômica da geração de energia nuclear. A ausência de fundos suficientes para financiar o descomissionamento, regras muito generosas para a responsabilidade civil, incentivos fiscais e outros descontos em muitos países ocultam o verdadeiro custo da eletricidade gerada com energia nuclear. Se a energia nuclear tiver um papel mais significativo no futuro, esses custos ocultos virão cada vez mais à tona, pois o ônus para as entidades obrigadas a suportarem o peso acabará ficando mais evidente.

Resumindo, a energia nuclear contribuiria até certo ponto para as metas ambiciosas de redução de emissões a nível global. Esta contribuição não eliminaria outras opções, é verdade, e poderia ser significativa. Para esta contribuição ser realmente significativa, o emprego da energia nuclear teria que ser ampliada até dimensões com fortes impactos. Estes impactos precisam ser avaliados para permitir uma comparação bem fundamentada com outras opções de redução de emissões. Uma expansão maciça da energia nuclear:

- aumentaria significativamente os riscos para a saúde, os ecossistemas e os sistemas sociais e econômicos, por causa de grandes acidentes (inclusive por atentados terroristas);
- elevaria o problema de resíduos nucleares e da proliferação a novas dimensões, em termos do volume de material e das regiões e países onde os problemas surgiriam;
- exigiria a substituição do sistema de ciclos de combustível sem reprocessamento (“once-through”) por ciclos de combustível mais ou menos fechados, e a volta do reprocessamento e da tecnologia de reatores regenerativos (“fast breeder”), levantando assim riscos e vulnerabilidades adicionais na cadeia tecnológica;

- exigiria pesados investimentos em toda a cadeia tecnológica, desde a mineração até o enriquecimento e reprocessamento, investimentos estes que precisam de demoradas atividades preparatórias;
- exigiria malhas de interligação e outras infraestruturas para garantir a estabilidade das operações;
- será mais atraente se o preço das emissões de CO<sub>2</sub> for fixado, por um lado, mas traria à tona outras distorções que fortalecem o desempenho da geração da energia nuclear.

Estes riscos e problemas dependem de debates políticos e científicos em múltiplas dimensões. Para alguns dos riscos, não existem propostas tecnológicas ou institucionais quanto a como limitar ou excluir os problemas ou suas conseqüências (ver Sailor et al., 2000, van der Zwaan 2002). No entanto, é uma cogitação extremamente especulativa tentar saber se tais propostas um dia funcionarão, ou se poderão ser suficientemente implementadas no mundo real e em prazos adequados.

Neste contexto, as próximas seções do texto analisam quais outras opções poderiam contribuir para estratégias ambiciosas de redução de emissões, qual seria seu potencial, quais as restrições relacionadas, as exigências, prazos, ferramentas político-administrativas, outros impactos e os custos, comparados aos da energia nuclear.

Se os riscos e os problemas da energia nuclear, mencionados acima, forem avaliados com seriedade, a questão fundamental é saber se as potenciais alternativas ao uso da energia nuclear (inclusive seus impactos) permitiriam o cumprimento de metas ambiciosas de redução de emissões. Em outras palavras,

- seria possível alcançar metas ambiciosas de redução de emissões sem a energia nuclear, em termos de contribuições ou custos potenciais, ou
- os impactos de qualquer uma das alternativas ou das alternativas em seu conjunto seriam obstáculos, no final, para as estratégias de redução de emissões, ou

- uma estratégia com uma contribuição significativa da energia nuclear acabaria sendo contraproducente para as estratégias ambiciosas de redução de emissões, pela impossibilidade de evolução para as outras opções?

A questão fundamental para a avaliação da energia nuclear é identificar metas ambiciosas para a redução das emissões em uma estratégia para a mudança climática, na medida em que estiver explícita (em termos de potenciais) ou implícita (em termos das consequências e impactos para outras opções de redução) a forte necessidade de incluir a energia nuclear no arsenal para cumprir com os desafios e metas ambiciosos de estratégias e políticas para a mudança climática.

### **Eficiência energética nos usos finais**

O relatório World Energy Outlook (Perspectiva Energética Mundial, AIE 2004) presume um ganho anual de intensidade energética entre 1,3 e 1,6% durante as próximas três décadas. Ou seja, o mesmo valor econômico (em termos de paridade de poder de compra) será gerado no ano 2030 gastando um terço a menos de energia primária do que em 2002. Porém, o forte crescimento global a nível global mais do que compensará os ganhos da eficiência no consumo de energia. Para o período 2002 a 2030, a AIE estima que a economia global crescerá por um fator de 2,4, enquanto a população deverá crescer perto de 30% no mesmo período. Em consequência, o consumo de energia primária aumentará em quase 60%. Se continuarem, estas tendências projetam um consumo de energia primária de aproximadamente 21 milhões de toneladas de petróleo-equivalente e emissões anuais de CO<sub>2</sub> pela queima de combustíveis fósseis de 48 bilhões de CO<sub>2</sub>, em 2050.

No entanto, o grande potencial de ganhos de eficiência não será alcançado na hipótese de tudo seguir como está (“Business as Usual”, ou BAU), apesar dos ganhos

econômicos que estas opções representam. Jochem et al. (2000) demonstram significativos potenciais de eficiência energética (de 5% a 80%) em todos os setores, para todas as regiões do mundo. O IPCC (2001) destaca áreas-chaves de consumo de energia onde existem possibilidades consideráveis para o uso eficiente da energia.

Nos setores de uso final, as seguintes áreas deverão ser as mais significativas para os ganhos na eficiência energética:

- No consumo de energia em edifícios (inclusive por eletrodomésticos), o IPCC (2001) se refere a um potencial de redução de emissões entre 1.000 e 1.1000 Mt C (3,667 to 4,033 Mt CO<sub>2</sub>) anualmente, até o ano 2020. Pacala/Socolow (2004) trabalham com o mesmo volume para o horizonte de 2050, em uma estimativa conservadora.
- Os grandes ganhos no setor industrial são projetados para a eficiência energética e maior eficiência nos materiais. Segundo o IPCC (2001), o potencial total de redução é de 1.300 até 1.500 Mt C (4,767 a 5,500 Mt CO<sub>2</sub>) por ano, em 2020.
- O consumo de energia no transporte é significativo por causa do rápido crescimento de emissões neste setor. O IPCC (2001) estima uma economia potencial entre 300 e 700 Mt C (1.100 a 2.567 Mt CO<sub>2</sub>) por ano em 2020; Pacala/Socolow (2004) se referem a 2.000 Mt C (7.333 Mt CO<sub>2</sub>), para o horizonte de 2050.

Anualmente, uma redução potencial total de até 16.000 Mt CO<sub>2</sub> pode ser projetada para 2050, se medidas abrangentes forem implementadas para melhorar a eficiência energética nos setores de usos finais. Este volume representa entre 40% e 60% da distância entre a hipótese “BAU” e as reduções ambiciosas de emissões que permitiriam a estabilização das concentrações de CO<sub>2</sub> na faixa de 400 a 450 ppm.

Uma das principais vantagens das estratégias focalizadas na eficiência é que muitas opções reduzem os custos, no âmbito agregado, e as reduções nas emissões seriam alcançadas a um custo adicional zero, ou muito baixo. Os principais problemas para a implementação de medidas de eficiência energética, porém, não são de ordem econômica. Há múltiplos entraves e barreiras estruturais por um lado (desde a falta de informação e motivação, até o dilema usuário-investidor) e uma heterogeneidade de estruturas envolvendo atores, motivações e capacidades, por outro.

As tecnologias de hoje já possibilitam relevantes ganhos na eficiência energética. Além disso, futuras inovações tecnológicas e administrativas terão papéis incrementais ao longo do tempo. O cerne do problema da eficiência energética é manter permanentes esforços para a constante introdução das inovações. Neste campo da eficiência energética, as melhorias alcançadas passo-a-passo e introduzidas imediatamente serão muito mais importantes do que alguns saltos tecnológicos. Os investimentos de longo prazo, como no setor da construção, exigem ações imediatas para aproveitar estas janelas de oportunidade.

### **Avanços na eficiência do próprio setor energético**

No setor energético em particular, o progresso tecnológico tem sido significativo nos últimos anos. Durante os próximos anos e décadas podemos esperar ainda mais ganhos na eficiência, se for mantida a dinâmica atual de pesquisa e desenvolvimento. Em vez da média global de 30% a 35% hoje, a eficiência da combustão em usinas de carvão pode chegar a 50% e a das usinas à base de gás natural até 65%, em um futuro próximo (EK, 2002). Em um prazo um pouco maior, a eficiência de turbinas a gás de ciclo combinado poderia se aproximar aos 70%, enquanto as novas turbinas supercríticas a vapor podem alcançar uma eficiência de 55% dentro de 20 anos.

Um ganho bem maior na produção eficiente de energia elétrica poderia ser alcançado com base na cogeração, ou na produção conjunta de calor e energia (CHP, em inglês), ou até de calor, energia e refrigeração (CHPC). O uso do calor residual da geração de eletricidade para aquecer processos industriais, ou até para a refrigeração, poderia elevar a eficiência total destas usinas CHP e CHPC a 90%. Esta técnica pode ser aplicada em instalações de grande escala gerando centenas de megawatts, para fornecer calor em processos industriais ou em aquecimento de ambientes na vizinhança. Ao mesmo tempo, em micro-instalações CHP de vários kilowatts (Pehnt et al., 2005) há um tremendo potencial para disponibilizar calor para tecnologias CHP eficientes.

Enquanto muitas projeções lineares 'BAU' já incorporam uma melhora constante das usinas, e é limitado o potencial adicional para a redução de emissões, o potencial dos sistemas CHP continua longe da plenitude, em projeções recentes. Um cálculo simplificado ilustra a relevância potencial de CHP e CHPC em uma estratégia integrada de redução de CO<sub>2</sub>.

Uma produção adicional de energia usando CHP sem biomassa, de 20% da geração global de eletricidade de 30.000 TWh em 2050 (considerado uma redução significativa por conta dos ganhos de eficiência energética) traria uma redução anual de 2.000 Mt de CO<sub>2</sub>, apenas pelo ganho de eficiência na produção de energia, sem levar em conta os impactos adicionais da troca de combustíveis.

### **A troca de combustíveis no setor energético**

No cenário 'BAU' da AIE (2004), a produção de energia com combustíveis fósseis dominará a oferta de eletricidade no ano 2030. De 2002 até 2030, as usinas de carvão deverão expandir suas capacidades de 1.135 GW até 2.156 GW e as usinas de gás de 893 GW para 2.564 GW. Para o período como um todo, isto representa um

crescimento médio anual de 36 GW para o carvão mineral e 60 GW para o gás natural. Considerando também que ao longo destas três décadas (2002-2030) perto da metade da capacidade instalada terá que ser substituída por novas usinas, terão que ser inauguradas todos os anos usinas de carvão com capacidade de gerar 57 GW e usinas a gás com capacidade de 76 GW. Estendendo esta projeção para o ano 2050, os novos investimentos em usinas de carvão somariam aproximadamente 2.700 GW, e nas usinas à gás 3.600 GW. Uma decisão a favor de novas usinas de carvão com capacidade de 1 GW equivale a uma decisão a favor de emissões anuais de perto de 4,7 Mt de CO<sub>2</sub> (com a eficiência média de 40% nas novas usinas e um fator de carga de 0,63) ao longo da vida útil (mais de 40 anos) das usinas. Uma estimativa similar para novos investimentos em usinas a gás natural produz uma emissão anual de 1,3 Mt de CO<sub>2</sub> por GW (com a eficiência média de 55% e um fator de carga de 0,40)

Pelo combustível menos intensivo em carbono e pela maior eficiência das usinas a gás, a geração de eletricidade de novas usinas a gás agrega 57% CO<sub>2</sub> do que uma nova usina de carvão. Neste contexto, mais trocas de combustível do carvão para o gás no setor energético abririam um potencial importante para a redução de emissões.

Pacala/Socolow (2004) projetam a substituição de carvão por gás na geração de 28 GW de energia, para alcançar mais reduções de emissões. Isto representa metade do investimento anual em novas usinas de carvão, pelos cálculos que vimos. Se 50% dos novos investimentos em carvão forem substituídos por gás natural até o ano 2050, usinas de carvão com emissões totais de 6.300 TM de CO<sub>2</sub> em 2050 seriam substituídas por usinas elétricas movidas a gás, com emissões totais de 2.700 Mt de CO<sub>2</sub>. Se todos os novos investimentos que seriam feitos em usinas de carvão fossem substituídos por investimentos em usinas a gás, os níveis de emissão seriam reduzidos pela metade: 12.700 Mt de CO<sub>2</sub> para o carvão e 5.500 Mt de CO<sub>2</sub> para o gás natural. Se presumirmos a substituição de 50% dos novos investimentos em plantas de carvão, haveria um potencial anual de redução de emissões de 3.600 Mt de CO<sub>2</sub> em 2050.



Evidentemente, os investimentos adicionais em usinas movidas a gás exigirão uma oferta adicional de gás natural. Para a estimativa aproximada que acabamos de ver, a demanda adicional por gás na geração de energia é de 29 EJ para o ano 2030 e 49 EJ em 2050. A demanda por gás no cenário 'BAU' da AIE (2004) é de 176 EJ em 2030. Ou seja, a demanda por gás natural aumentaria em aproximadamente 16%, acima do cenário 'BAU'. A demanda adicional por gás no horizonte de 2050 ficaria na mesma magnitude. No contexto de uma estratégia energética sustentável, este volume de gás natural deveria ser compensado por medidas de eficiência energética, seja em outros setores (por exemplo, na construção) seja no próprio setor energético. A tecnologia chave para reduzir a demanda por gás natural é a cogeração, a produção combinada de calor e energia (CHP) ou de calor, energia e refrigeração (CHPC). Se um quarto das novas usinas a gás forem do tipo CHP ou CHPC, a demanda adicional por gás ficaria 7% menor.

### **Energia renovável**

Os fluxos globais de energias renováveis estão a três ordens de magnitude a cima da demanda global atual e projetada por energia primária (Rogner, 2000). Já existe uma gama de tecnologias para usar energias renováveis, além de uma variedade maior ainda em vias de desenvolvimento. Os principais desafios para a extensão em grande escala das energias renováveis são os seguintes (Rogner, 2000; WBGU, 2004):

- Poucas opções de uso de energias renováveis hoje são competitivas frente à energia de fonte fóssil ou nuclear, no atual contexto econômico (sem internalização das externalidades);
- A utilização e a economicidade das energias renováveis são afetadas por várias restrições, como conflitos sobre o uso da terra (ex. biomassa), latitude (ex. ener-

gia solar), localização (ex. energia eólica e geotérmica) ou impactos ambientais e tensões sociais (ex. hidrelétricas);

- A distribuição global das fontes atuais e futuras de energias renováveis é muito diferenciada, com um potencial muito menor na Europa (excluindo a ex-União Soviética) e na Ásia do que nas Américas e outros continentes e regiões ricas em energia solar.

A energia renovável já responde por uma parte significativa da oferta global de energia primária. Subsistem, porém, muitas incertezas quanto à sua participação precisa, pois a maior parte das energias renováveis consumidas hoje é de biomassa tradicional, que não constitui uma energia comercial em muitas regiões do mundo. Além disto, as “biomassas tradicionais” (ex. lenha) não podem ser consideradas fontes sustentáveis de energia nessas regiões, por contribuírem para o desmatamento e a desertificação. A Agência Internacional de Energia (AIE, 2004) estima que aproximadamente 10% de toda a demanda por energia primária era coberta por biomassa em 2002. A AIE (2004) calcula que aproximadamente 70% do uso global de energia de biomassa é de “biomassa tradicional” com sérios problemas de sustentabilidade. Ao todo, o uso de “biomassa moderna” para a produção sustentável de energia poderia se multiplicar por seis ou mais, usando tecnologias em conformidade com os critérios da sustentabilidade (Rogner, 2000; WGBU, 2004).

A energia hidrelétrica é a segunda fonte de energia renovável que entra com uma participação mais do que marginal hoje na oferta global de energia primária. Ela representa atualmente 16% da geração mundial de eletricidade, e aproximadamente 6% da oferta global de energia primária. Mesmo existindo um potencial técnico significativo para a extensão do uso da energia hidrelétrica Rogner (2000) indica um potencial técnico cinco vezes maior do que o uso atual), ela é a opção entre todas as energias renováveis com o menor potencial para futuro crescimento.

Além destas fontes de energia renovável, poucas outras fontes podem desempenhar um papel crescente na oferta primária ao longo das próximas décadas.

Em primeiro lugar, a geração de eletricidade pelo vento cresceu significativamente em anos recentes. De 1990 a 2002, a geração de energia eólica aumentou a uma taxa média de 30% por ano, tanto dentro como fora dos países da OCDE (Turkenburg, 2000; AIE, 2005). Quanto ao potencial tecnológico para o uso futuro da energia eólica, Rogner (2002) indica 640 EJ, cifra que representa cem vezes mais do que os níveis atuais de geração.

A geração de eletricidade por energia solar ainda está em uma fase preliminar de desenvolvimento. Se bem que a geração fotovoltaica cresceu cerca de 30% por ano recentemente (Turkenburg, 2000; AIE, 2005), e ainda se espera um crescimento significativo da produção da energia solar térmica nos próximos anos, a contribuição da energia solar para a produção global de energia ainda é muito pequena. Mesmo assim, o imenso potencial da produção de energia solar e o rápido progresso tecnológico poderiam levar a energia solar a participar significativamente na oferta total de energia primária nas próximas cinco décadas (van der Zwaan/Rabl, 2004).

O maior potencial tecnológico entre as energias renováveis vem da energia geotérmica, que já produz eletricidade em várias regiões do mundo. Rogner (2000) indica um potencial de 500 EJ produzidos de modo econômico em 10 ou 20 anos, e um potencial economicamente viável de 5.000 EJ em 40 ou 50 anos.

Por último, mas nem por isso menos importante, a energia oceânica (das marés, das ondas, térmica, dos gradientes do sal) poderia fazer uma contribuição imensa à oferta global de energia primária no médio e longo prazo. Rogner (2000) estima um potencial técnico de 7.400 EJ para as variadas opções de uso energético dos mares.

Mesmo assim, e apesar do tremendo potencial técnico para o uso de energias renováveis para a geração de eletricidade, uma barreira central para a expansão do

uso de renováveis é sua competitividade econômica. Com exceção das hidrelétricas e de certas opções de biomassa, a maioria das tecnologias para a geração com energias renováveis está em fase inicial de desenvolvimento. Muitos estudos prevêem custos bem menores, se houver uma intensificação da pesquisa e desenvolvimento e uma rápida introdução ao mercado. Muitas opções de geração com energias renováveis

**TABELA 6 CUSTOS ATUAIS E FUTUROS DA GERAÇÃO DE ELETRICIDADE COM FONTES RENOVÁVEIS DE ENERGIA**

	PNUD (2000)		ICCEPT (2002)		Enquete-Kommission (2002)			
	atual	futuro	atual	além de 2020	atual	2010	2020	2050
	¢/kWh				ct/kWh			
Hidrelétrica	2...10	2...10	2...10	2...10	5,5...15	-	-	-
Eólica terrestre	5...13	3...10	3...5	2...3	4,5...9	3...6	3...6	3...5
Eólica "offshore"			6...10	2...5	6,3...10	4...6	3...5,5	3...4,5
Fotovoltaica	25...125	5...25	50...80(a) 30...50(b) 20...40	~ 8(a) ~ 5(b) (c) ~ 4(c)	50...100	29...58	12,5...25	9...18
Usinas de energia solar térmica (d)	12...18	4...10	12...18	4...10	8...16		5...6	~ 4
Biomassa	5...15	4...10	5...15	4...10	3,5...30	-	-	-
Geotérmica	2...10	1...8	2...10	1...8	-	-	-	-
Oceânica	8...20	5...15						

Notas: <sup>a</sup> a 1.000 kWh/m<sup>2</sup> (Europa Central). - <sup>b</sup> a 1.500 kWh/m<sup>2</sup> (Europa Mediterrânea). - <sup>c</sup> 2.500 kWh/m<sup>2</sup> (Regiões do Sul). - <sup>d</sup> em localidades com 2.500 kWh/m<sup>2</sup>

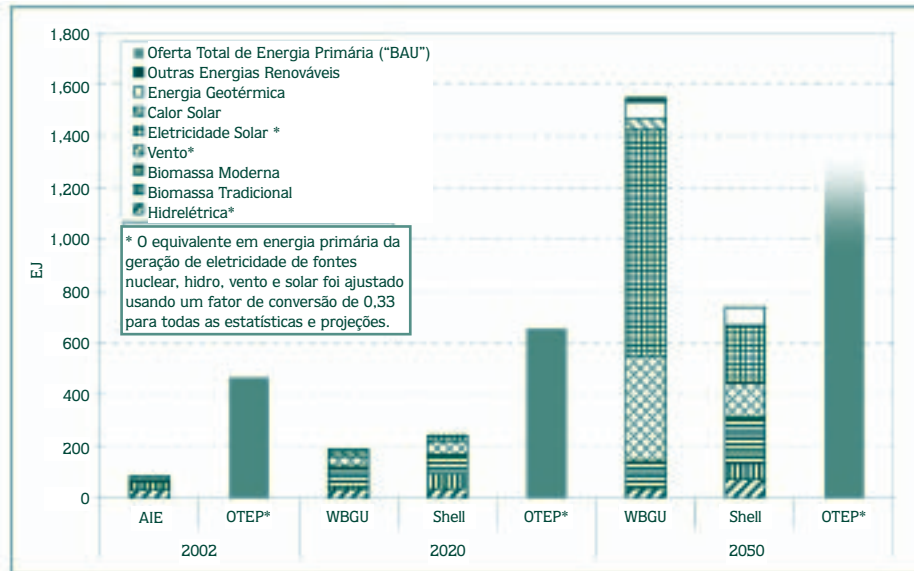
**Fonte:** Turkenburg (2000), ICCEPT (2002), EK (2002).

demonstraram significativos “efeitos pelo aprendizado” ao serem introduzidas rápida e amplamente ao mercado. (AIE, 2000)

A Tabela 6 indica diferentes projeções de custos para tecnologias chaves na geração com energias renováveis. Este panorama destaca a redução significativa de custos previsível para as próximas duas décadas, principalmente para a energia eólica, geração com biomassa e energia geotérmica. A médio e longo prazo (mais que duas décadas), a energia solar e a geração de eletricidade com energias oceânicas podem revelar custos significativamente menores.

A Figura 6 oferece um panorama de duas diferentes projeções para o crescimento futuro de energias renováveis.<sup>10</sup> As duas presumem fortes intervenções políti-

**Figura 6. PROJEÇÕES DA CONTRIBUIÇÃO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS À OFERTA TOTAL DE ENERGIA PRIMÁRIA (OTEP), 2002-2050**



**Fonte:** WBGU (2004), Shell (2002), AIE (2004), estimativas e cálculos do autor.

<sup>10</sup> Para os propósitos deste estudo, os dados das várias fontes foram ajustados para uma metodologia comum. As estatísticas amplamente usadas da AIE levam em conta o conteúdo energético da eletricidade (3.6 MJ/kWh) de fontes hídricas, eólicas e solares para a conversão em energia primária. Para a geração de energia nuclear, a AIE presume uma eficiência de conversão de 33%. À diferença dessa definição, as projeções do IPCC (2000) não usam a mesma conversão para a energia nuclear, mas o conteúdo energético da eletricidade. Para os propósitos deste estudo, a eletricidade produzida por energia nuclear, hidrelétricas, eólica e solar foi convertida em energia primária com um fator de conversão de 33%, para permitir uma comparação adequada das contribuições da geração de energias fóssil, nuclear e renováveis à oferta primária energética.

cas para alcançar um sistema energético sustentável em escala global. Dependendo da presunção quanto à oferta total futura de energia primária, de 50% a 100% da oferta total de energia primária poderia ser suprida com energias renováveis. A comparação, no entanto, também indica variações entre as avaliações das contribuições de cada energia renovável. Enquanto Shell (2002) prevê taxas comparáveis de crescimento para a biomassa, o vento e a energia solar em seu cenário “Espírito da nova era”, o WBGU (2004) apresenta um potencial de crescimento muito mais agressivo e de saltos tecnológicos para as energias eólica e solar, e um incremento bem menos significativo para o uso da biomassa no setor energético. Nas duas projeções, a energia geotérmica terá um papel significativo.

Resumindo, as energias renováveis poderiam suprir plenamente, ou em grande medida, a demanda futura por energia primária, do ponto de vista técnico. Porém, algumas tecnologias para expandir a adoção de energias renováveis ainda estão nos primórdios de seu desenvolvimento. O ICCEPT (2002) indica as seguintes agrupamentos de energias renováveis para a geração de eletricidade:

- Tecnologias maduras: biomassa (em co-combustão, ou “co-firing”), hidrelétricas grandes e pequenas, barragens de marés, placas fotovoltaicas fora da rede (“off-grid);
- Tecnologias emergentes à beira da maturidade: usinas eólicas terrestres, placas fotovoltaicas para edifícios, biomassa (combustão);
- Tecnologias emergentes: usinas eólicas “offshore”, biomassa (gaseificação);
- Tecnologias conceituais à beira de virarem emergentes: placas fotovoltaicas avançadas, fluxo de ondas e de marés, biomassa (hidrólise), geotérmica (pedra seca quente/HDR);
- Tecnologias conceituais: hidrogênio fotossintético

Esta longa lista de opções tecnológicas oferece suficiente flexibilidade para os diferentes cenários dos avanços e progressos tecnológicos visando a redução de custos para a geração de eletricidade a partir de energias renováveis. A maior contribuição poderia vir da biomassa, do vento e das hidrelétricas, até 2020. Para os horizontes além de 2020, o principal desafio será o volume de energia que poderá ser gerada com tecnologias solares, e a extensão do uso das opções de geração eólica, geotérmica e oceânica.

Mesmo assim, grandes esforços serão necessários para melhorar o retorno econômico das várias tecnologias, alcançar novos saltos tecnológicos e construir a infra-estrutura necessária. Uma questão chave para a infra-estrutura é a geração intermitente com usinas fotovoltaicas e eólicas. Um sistema de oferta de energia com grande participação de fontes intermitentes criará exigências totalmente novas para as redes e para a flexibilidade de outras fontes de eletricidade. Os avanços alcançados nos últimos anos (modelos maduros de prognóstico, desenvolvimento de tecnologias altamente eficientes e flexíveis de geração a gás, etc.) revelam como a integração de fontes intermitentes de eletricidade deve ser encarada mais como desafio do que como barreira para a adoção generalizada de energias renováveis no setor elétrico. No entanto, para as fontes renováveis também há restrições ecológicas e sociais a considerar. Em certas regiões do mundo há limitações de localização para a geração eólica, enquanto algumas tecnologias oceânicas (barragens de maré) e usinas hidrelétricas provocam impactos ambientais e sociais negativos locais.

Neste contexto, destaca-se que grandes avanços tecnológicos e ganhos econômicos na geração de eletricidade com energias renováveis elevarão enormemente o potencial para a geração de eletricidade em um prazo relativamente curto. Se forem reduzidos os custos da energia solar e inclusive das tecnologias eólicas e de biomassa e se a infra-estrutura necessária for disponibilizada, o sistema de energia se transformará rapidamente. Em outras palavras, se a contribuição de energias renováveis para a oferta global de energia primária superar os níveis relativamente

baixos no futuro, elas dominarão a estrutura de energias primárias a partir de meados deste século. É difícil imaginar um “meio caminho” para a contribuição das energias renováveis.

### **Captura e armazenamento de carbono**

Uma das tecnologias emergentes para reduzir a liberação de gases de efeito estufa na atmosfera é a captura e seqüestro de carbono (CSC). A CSC abrange tecnologias para a coleta e concentração de  $\text{CO}_2$  de várias fontes, seu transporte para lugares adequados de armazenamento, e seu armazenamento durante longos períodos de tempo. A CSC poderia ser aplicada para o  $\text{CO}_2$  da queima de combustíveis fósseis ou de processos industriais, ou então para as emissões de  $\text{CO}_2$  pela combustão de biomassa sem emissões líquidas de carbono (“carbon neutral”). Esta última opção representaria um sumidouro líquido para as emissões de  $\text{CO}_2$ , e deveria assumir um papel nas políticas climáticas de longo prazo.

Mesmo já existindo algumas tecnologias maduras ou economicamente viáveis na cadeia da CSC, novas tecnologias também devem ser desenvolvidas ou melhoradas, e grandes esforços serão necessários para alcançar um sistema integrado de CSC, que seja confiável em termos de tecnologia, viabilidade econômica e aceitação pública. A captura e armazenamento do carbono depende de intensas atividades de pesquisa e desenvolvimento, e hoje passa por profundas análises e avaliações (ver IPCC, 2005; AIE, 2004b+2005b).

Sob o ponto de vista econômico, a captura de  $\text{CO}_2$  é a chave para a opção CSC. O principal desafio consiste no fato de que a captura do  $\text{CO}_2$  exige uma grande quantidade de energia, reduzindo significativamente a eficiência das usinas elétricas. A captura das emissões de  $\text{CO}_2$  poderia diminuir a eficiência da geração de eletricidade em quase 10%, e comprometeria boa parte do progresso tecnológico dos últimos 20



anos. Além disto, as taxas efetivas de captura não implicam uma usina livre de emissões, já que a redução líquida de CO<sub>2</sub> varia de 80% a 90% para as tecnologias preferidas (IPCC, 2005). A captura de carbono poderia proceder de várias tecnologias:

- captura pós-combustão,
- captura pré-combustão,
- captura com tecnologia oxi-combustível (combustão com oxigênio puro),
- captura de processos industriais (ex. produção de aço ou de amônia),

Para as opções de pré-combustão e de captura com tecnologia oxi-combustível, a tecnologia de geração terá que passar por uma transição fundamental. Apesar destas tecnologias já existirem em plantas demonstrativas (de gaseificação integrada com ciclo combinado, ou IGCC) ou em programas para projetos demonstrativos, ainda não há evidência suficiente da viabilidade econômica destas tecnologias. A tecnologia IGCC em particular perdeu a concorrência com as turbinas a vapor, usando parâmetros críticos e supercríticos, nas últimas duas décadas. As usinas elétricas que queimam carvão pulverizado em turbinas convencionais a vapor demonstraram uma correlação muito melhor com as exigências das operações comerciais cotidianas do que a tecnologia mais inovadora e mais eficiente da IGCC.

O transporte do CO<sub>2</sub> poderia contar com tecnologias existentes (gasodutos, transporte marítimo) e será menos intensivo em custos se as distâncias ficarem na faixa de 200 a 300 km. Se for preciso passar por distâncias muito maiores entre as fontes de CO<sub>2</sub> e os locais de armazenamento, os custos de transporte também pesarão significativamente nos custos.

Existem três grandes opções para armazenar o CO<sub>2</sub>. O CO<sub>2</sub> pode ser injetado em formações geológicas, ou no fundo dos mares (em profundidades maiores que 1.000 m), ou pode ser mineralizado para armazenar os minerais em lugares adequados.

Destas três opções, apenas a do armazenamento em formações geológicas é vista como aceitável à luz dos conhecimentos atuais. Existe alguma evidência de danos que seriam causados pela injeção de volumes significativos de CO<sub>2</sub> no fundo do mar, para ecossistemas marinhos. Os impactos das injeções de CO<sub>2</sub> para ecossistemas marinhos em grandes áreas oceânicas, a longo prazo, são simplesmente desconhecidos. A carbonização mineral do CO<sub>2</sub> induziria imensos fluxos de materiais, a necessidade de disposição final para produtos em grande escala, e outros problemas ambientais. Por exemplo, o processo de carbonização consumiria de 1,6 a 3,7 toneladas de silicatos por tonelada de CO<sub>2</sub> armazenado, e produziria de 2,6 a 4,7 de toneladas de material para disposição final. Estes fluxos de material e os processos relacionados (mineração, esmagamento, moagem, transporte e disposição) também teriam custos relativamente altos.

Em conseqüência, o armazenamento em formações geológicas (campos exauridos de petróleo e gás, veios de carvão não exploráveis, formações salinas profundas) deve ser visto como a principal opção de CSC nas próximas décadas. O IPCC (2005) indica uma faixa de 200 até 2.000 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> como potencial econômico da CSC ao longo do próximo século. A faixa inferior é qualificada pelo IPCC como “quase certa” (probabilidade de 99% ou mais), e o limite superior como “provável” (probabilidade de 66% a 90%). Neste contexto, a CSC poderia fazer uma contribuição significativa para a redução de emissões a longo prazo. No entanto, a CSC vai representar uma opção temporária de mitigação, já que a capacidade de armazenamento deve ser vista como finita.

A Tabela 7 indica as faixas de custo para os vários componentes de um sistema de CSC. Para o caso de armazenamento em formações geológicas, a captura de CO<sub>2</sub> responde pela maior parte do custo. O transporte do CO<sub>2</sub> sobre longas distâncias, por um lado, aumentaria os custos de um sistema de CSC. Por outro lado, usar o CO<sub>2</sub> capturado para incrementar a recuperação de petróleo (“enhanced oil recovery-EOR”) ou do metano em minas de carvão (“enhanced coalbed methane recovery-ECBM”) traria benefícios econômicos que reduziriam os custos do sistema CSC. Porém, as

oportunidades para aproveitar tais benefícios seriam reduzidas significativamente, no contexto de metas muito ambiciosas para a redução de emissões. No total, os custos de compensação via CSC – entre \$15 e \$90/t CO<sub>2</sub> – são comparáveis aos de muitas fontes renováveis de energia.

Alguns riscos associados a sistemas CSC se referem ao armazenamento do CO<sub>2</sub>. Riscos globais surgem do potencial de vazamento parcial do CO<sub>2</sub> armazenado para a atmosfera. Tal vazamento voltaria a contribuir para o aquecimento global. A seleção dos locais para o armazenamento de CO<sub>2</sub> deve responder à necessidade de manter o CO<sub>2</sub> armazenado nos reservatórios durante prazos de 100 a 1.000 anos. Com relação a riscos locais, uma liberação súbita e rápida de CO<sub>2</sub> (por falha de poço, etc.) ameaçaria a vida e a saúde humana. Vazamentos lentos e difusos impactariam lençóis freáticos e ecossistemas, ou causariam a acidificação de solos. Muitos destes riscos seriam repelidos pela seleção e projeção adequadas dos locais de armazenamento e por estratégias abrangentes de monitoramento e remediação. Se bem que estes riscos não devam ser subestimados, algumas poucas opções para reduzir os perigos associados estão disponíveis e devem ser implementadas.

Mesmo assim, muitos problemas terão que ser resolvidos para estabelecer a CSC como opção eficaz para estratégias ambiciosas de redução de emissões. Além dos problemas tecnológicos, econômicos e de segurança, há grandes preocupações com a responsabilidade civil, propriedade, embasamento jurídico e também monitoramento e verificação, que terão que ser superadas antes de a CSC constituir uma opção eficaz de redução.

As avaliações da contribuição da CSC para a redução de emissões globais variam muito, para o horizonte temporal das próximas cinco décadas. O IPCC (2005) prevê que a maioria dos projetos CSC serão implementados na segunda metade do século. Em contraste, o WBGU (2004) presume uma contribuição significativa anual pela CSC para a redução de emissões (>15 Gt CO<sub>2</sub>) já em 2050. Pacala/Socolow (2004) presumem uma

**TABELA 7 FAIXAS DE CUSTOS PARA OS COMPONENTES DE UM SISTEMA CSC DE NOVAS INSTALAÇÕES EM GRANDE ESCALA**

Componentes do sistema		CSC Faixa de custos	Comentários
Captura	Captura de uma usina a carvão ou a gás	15...75 US\$/tCO <sub>2</sub> Captura líquida	Custo líquido do CO <sub>2</sub> capturado comparado com a mesma usina sem captura.
	Captura da produção de hidrogênio e amônia, ou do processamento de gás	5...55 US\$/tCO <sub>2</sub> Captura líquida	Aplica-se a fontes de alta pureza que exigem secagem simples e compressão.
	Captura de outras fontes industriais	25...115 US\$/tCO <sub>2</sub> Captura líquida	Faixa reflete o uso de várias tecnologias e combustíveis diferentes.
Transporte		1...8 US\$/tCO <sub>2</sub> transportado	250 km em gasoduto ou como carga, para taxas de fluxo em massa de 5 (limite superior) a 40 (limite inferior) Mt CO <sub>2</sub> /ano.
Armazenamento	Armazenamento Geológico(a)	0.5...8 US\$/tCO <sub>2</sub> Injeção líquida	Exclui receitas potenciais de EOR ou ECBM.
	Armazenamento Geológico: monitoramento e verificação	0.1...0.3 US\$/tCO <sub>2</sub> Injeção	Abrange pré-injeção, injeção e monitoramento pós-injeção, e depende de exigências regulatórias.
	Armazenamento oceânico	5...30 US\$/tCO <sub>2</sub> Injeção líquida	Inclui o transporte marítimo de 100-500 km, sem contar monitoramento e verificação.
	Carbonização mineral	50...100 US\$/tCO <sub>2</sub> Mineralização líquida	Faixa observada no melhor caso estudado. Inclui energia adicional gasta na carbonização.

Nota: (a) A longo prazo, podem surgir custos adicionais para remediação e responsabilidades civis.

**Fonte:** PIMC (2005).

redução de emissões de 3,7 Gt CO<sub>2</sub> das usinas elétricas de carga básica movidas a carvão com capacidade de 800 MW e das usinas de carga básica a gás natural com capacidade de 1.600 MW, equipadas com SCS em meados deste século.

Se o desenvolvimento tecnológico receber um tremendo impulso e os problemas pendentes (confiabilidade dos reservatórios, infra-estrutura, questões jurídicas, etc.) forem resolvidos, além de haver aceitação pública pela CSC, estes sistemas poderiam contribuir para a redução de emissões em 2050 com vários bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub>. Em uma primeira fase, a implementação da CSC ocorrerá em países industrializados, enquanto a expansão global dependerá de muitos fatores (infra-estrutura, capacidades institucionais, etc.). A CSC, porém, ainda pertence ao grupo de opções emergentes para a redução de emissões, apesar de contar com alguns componentes maduros

### **Conclusões preliminares**

A percepção de que nenhuma opção por si só será suficiente para alcançar a redução de emissões necessária para estabilizar as concentrações de gases de efeito estufa na atmosfera em níveis que limitem o aquecimento global a dimensões toleráveis é denominador comum no debate sobre o clima. A questão da eliminação de qualquer uma das opções da carteira de medidas de redução é muito mais difícil e polêmica.

Se presumirmos um lapso a ser fechado entre a tendência atual ('BAU') para emissões de CO<sub>2</sub> e a redução necessária de emissões (induzida, por exemplo, pela "meta de 2°C") fica na faixa de 25 a 40 Gt de CO<sub>2</sub> em 2050, chegamos aos seguintes resultados, com base em estimativas grosseiras para cada opção de redução:

- cerca de 5 Gt CO<sub>2</sub> da expansão da geração de energia nuclear até três vezes a capacidade atual;
- cerca de 4 Gt CO<sub>2</sub> da melhora na eficiência dos edifícios;

- cerca de 5 Gt CO<sub>2</sub> da melhora na eficiência energética e de materiais em setores industriais;
- cerca de 7 Gt CO<sub>2</sub> da melhora na eficiência energética no setor de transportes;
- cerca de 2 Gt CO<sub>2</sub> da melhora na eficiência energética no setor energético (sem troca de combustível);
- cerca de 3.6 Gt CO<sub>2</sub> da troca de combustível (de carvão para gás) no setor elétrico;
- cerca de 15 Gt CO<sub>2</sub> (ou mais) das energias renováveis (nos setores elétrico e de calefação);
- entre 4 a 10 Gt CO<sub>2</sub> da captura e seqüestro de carbono.

Ao todo, podem estar disponíveis no ano 2050 opções para reduzir as emissões para 45 a 55 Gt CO<sub>2</sub> abaixo das projeções lineares ('BAU'). Neste contexto, a contribuição da energia nuclear não consta como indispensável, mesmo para um caminho muito ambicioso de redução de emissões. Existem em diferentes dimensões, porém, incertezas, riscos e interações para todas as opções:

- Apesar de o aquecimento global e a energia nuclear apresentarem riscos diferenciados, a tensão principal é a que existe entre estes dois desafios. Mesmo havendo alguns riscos para a saúde e os ecossistemas em opções desde as energias renováveis até a CSC, nenhuma outra opção de redução por si só apresenta riscos comparáveis para a saúde, para os ecossistemas e para os sistemas sociais e econômicos como os associados à energia nuclear.
- À diferença das energias renováveis e a CSC, a opção nuclear já tem fortes vínculos ao sistema de energia elétrica, e ainda os terá, ao menos no futuro próximo. As energias renováveis e a CSC exigem uma transição fundamental para o sistema elétrico (novas tecnologias básicas, transformação da estrutura

geográfica, integração de redes, etc.). Porém, se a energia nuclear puder contribuir significativamente à redução de emissões, grandes mudanças na cadeia tecnológica (reprocessamento, tecnologia de reatores) serão necessárias dentro de duas a três décadas. Persistem ainda muitas incertezas quanto à viabilidade desta proposta.

- As mudanças na cadeia tecnológica da energia nuclear exigem preparos de longa duração (desde a mineração até a disposição de resíduos), e muitas incertezas precisam ser explicitadas para preparar todos os elos da cadeia em tempo hábil.
- As exigências associadas a uma maior participação de energias renováveis e de CSC na oferta de energia para o sistema elétrico (maior flexibilidade, integração da descentralização e centralização, manejo da produção intermitente de energia, melhora da infra-estrutura para a eletricidade e CO<sub>2</sub>) podem entrar em conflito com as da energia nuclear renovada (grandes unidades, estruturas centralizadas de redes, pouca flexibilidade).
- As únicas opções de redução com vínculos parecidos ao sistema elétrico atual são a troca de combustíveis e a melhora da eficiência do setor energético (inclusive com CHP). Apesar de terem contribuições limitadas ao longo do tempo, estas duas opções podem desempenhar papéis importantes no início da transição do sistema elétrico.
- As opções com maior potencial de eficiência econômica (várias formas de melhorar a eficiência energética) exigem intervenções políticas abrangentes, devido à multiplicidade de entraves à implementação de medidas de eficiência energética. Este problema é diferente quando se trata de medidas de implementação imediata no setor energético. Um nível satisfatório de preços para o CO<sub>2</sub> (e um esquema adequado de trocas de emissões, etc.) poderia dar o pontapé para as medidas necessárias.

- As opções chaves para a redução a médio prazo (algumas energias renováveis, CSC) não são competitivas com a energia nuclear a curto prazo, desde que as externalidades da energia nuclear continuem ocultas (responsabilidade e seguros, custo do descomissionamento, etc.) e outras distorções também sobrevivam (subsídios diretos ou indiretos). Se a energia nuclear fizer mais do que estagnar nas próximas décadas (se não, sua contribuição para reduzir as emissões será pífia), ela enfrentará importantes desafios econômicos na forma de mudanças que terão que ser feitas na cadeia tecnológica. Nesta perspectiva, o caminho nuclear pode acabar sendo o caminho errado.
- Nenhuma outra tecnologia na carteira de opções de redução ostenta tamanho potencial de mobilização. Se ocorressem um ou mais acidentes em unidades nucleares (inclusive as de enriquecimento, reprocessamento e disposição), a aceitação do caminho nuclear iria por água abaixo em pouco tempo. Isto seria desastroso para uma política para o clima que contasse com a energia nuclear para dar uma contribuição significativa na redução de emissões.

Se estas complexas interações forem consideradas, será necessário e possível desenvolver cuidadosamente estratégias para o curto, médio e longo prazo. Se a energia nuclear não for considerada indispensável (como se desprende da análise que acabamos de ver), então no curto prazo a troca de combustível do carvão para o gás no setor elétrico poderia ser a prioridade nas próximas duas ou três décadas, em conjunto com grandes esforços para melhorar a eficiência energética nos setores de geração e de consumo final. Esta seria a ponte para a era quando a curva de aprendizagem para as energias renováveis tiver reduzido consideravelmente seus custos, e os esforços de P&D com a CSC também mostrarem resultados.



## 6. ESTRATÉGIAS-CHAVE: UM ESTUDO DE CASO SOBRE A ALEMANHA

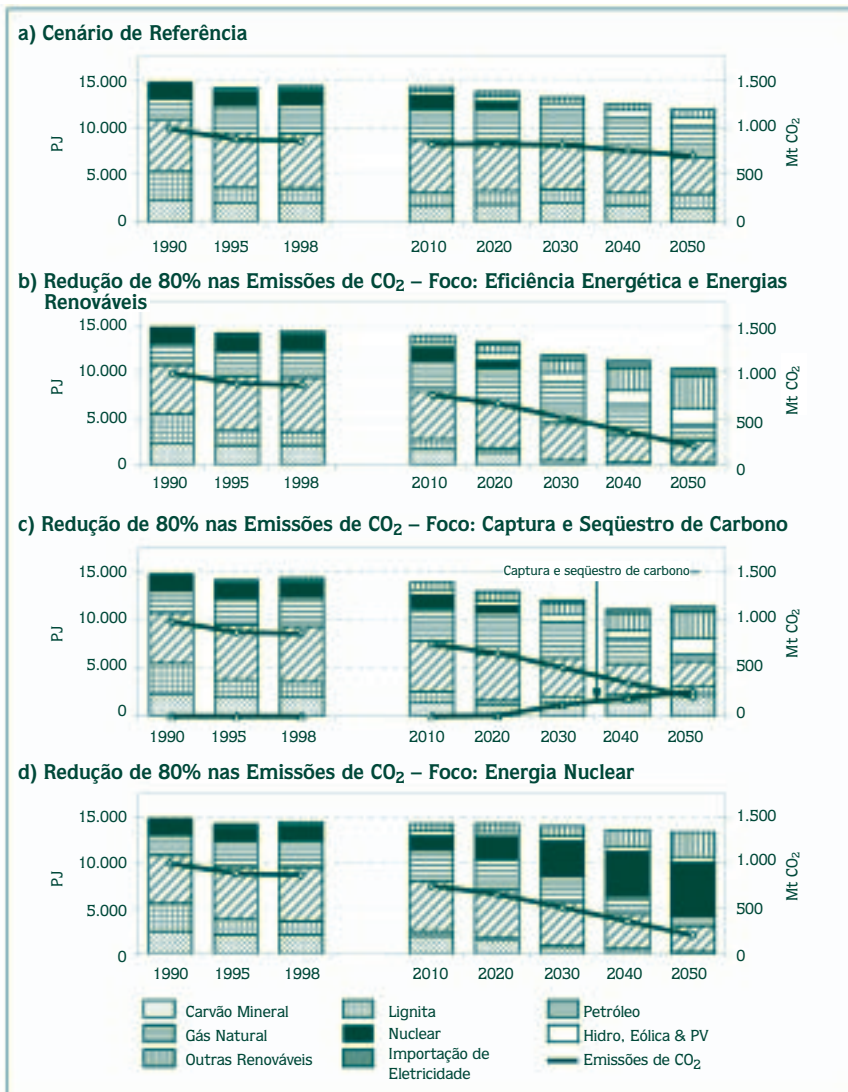
---

Para avaliar a gama de opções e estratégias para a redução de emissões para um país altamente industrializado, a Comissão de Estudos (Enquete-Kommission) sobre “Energia Sustentável no contexto da globalização e da liberalização” do Bundestag Alemão contratou um exercício de modelagem para analisar diferentes estratégias para alcançar uma redução de 80% nas emissões de CO<sub>2</sub> (comparado com os níveis de 1990) até o ano 2050 (EK, 2002).

O objetivo principal do exercício era identificar o padrão da oferta de energia e seus desdobramentos em uma política ambiciosa para o clima. Na análise, foram desenvolvidos quatro cenários diferentes (também sujeitos a uma análise abrangente de sensibilidade):

- Em um “Cenário de Referência”, as atuais políticas e medidas são projetadas para o futuro, sem uma política ambiciosa para o clima para além do horizonte temporal de 2012.
- Em um cenário de “Renováveis e Eficiência”, a meta de reduzir em 80% as emissões de CO<sub>2</sub> deve ser alcançada sem contar com a captura e seqüestro de carbono ou com a energia nuclear (presumindo a estratégia alemã atual de descomissionamento).
- Em um cenário de “Foco no Setor Energético”, a opção de captura e seqüestro de carbono também foi incluída.
- Em um cenário de “Mistura de Energias Fóssil e Nuclear”, a opção nuclear foi incluída, junto com todas as outras opções para a redução de emissões.

**Figura 7.** OFERTA DE ENERGIA PRIMÁRIA E EMISSÕES DE DIÓXIDO DE CARBONO, CENÁRIOS DO ESTUDO DE CASO SOBRE A ALEMANHA



Fonte: EK (2002).

O exercício de modelagem foi realizado com diferentes modelos de simulação e de otimização, para garantir resultados consistentes. A Figura 7 fornece um resumo dos resultados da modelagem.

No cenário de referência (tipo 'BAU'), observa-se uma pequena redução na oferta de energia primária enquanto as emissões de CO<sub>2</sub> diminuiriam até um nível 20% abaixo do nível de 1990, configurando uma redução adicional de emissões na ordem de 10 pontos percentuais comparado com o nível alcançado em 1998. Mantém-se aproximadamente a mesma estrutura de energia primária, com uma redução no consumo de petróleo e um pequeno aumento nas energias renováveis. Estas tendências no tempo surgem das tendências demográficas e da melhora autônoma da eficiência energética na economia nacional.

Se for para alcançar uma redução de 80% das emissões de 1990 com base na intensificação da eficiência energética e na maior participação de energias renováveis, a oferta de energia primária cairia significativamente. Comparado com o cenário de referência, os ganhos da eficiência energética somariam 13%. Aproximadamente 48% da oferta total de energia primária viria de energias renováveis, com contribuições especialmente significativas da biomassa e da energia eólica. O consumo do carvão (mineral e lignita) seria gradualmente eliminado até 2030, e o de gás natural e de petróleo diminuiriam significativamente. Porém o consumo de gás natural e de petróleo ainda representaria 40% da oferta total de energia primária em 2050. Vale destacar que, por causa da situação geográfica da Alemanha, a importação de eletricidade de regiões com maior potencial para a geração à base de energias renováveis responderia por 9% da oferta total de energia primária.

Se a opção de redução via CSC for incorporada, a estrutura da oferta de energia primária será muito diferente. Mesmo presumindo grandes esforços a favor da eficiência energética nos setores de uso final, o nível de oferta total de energia primária fica apenas 4,5 abaixo do nível do cenário de referência. Isto se deve principalmente à demanda adicional por energia resultante da CSC, que começaria a ser

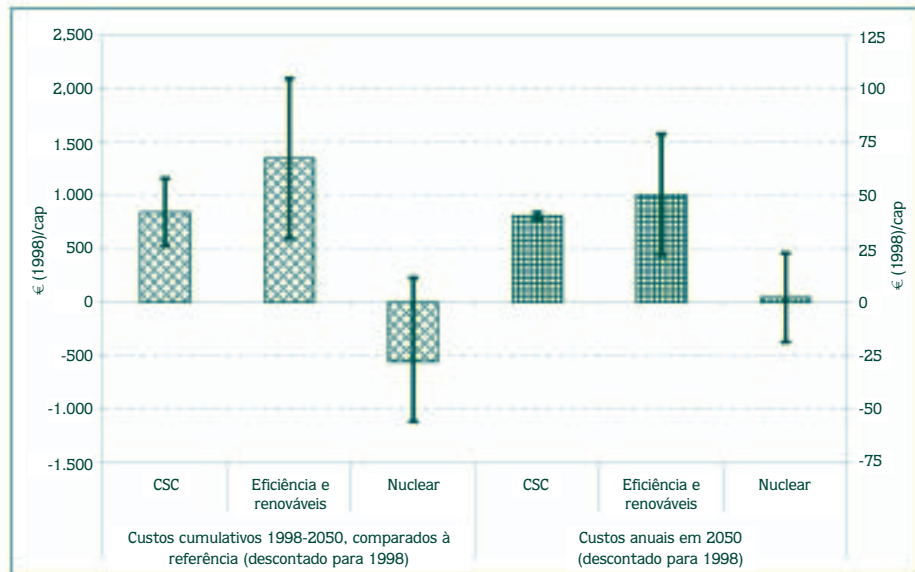
implementada em 2030 e que poderia recuperar perto de 260 Mt de CO<sub>2</sub> em 2050. A participação das energias renováveis, porém, também crescerá significativamente neste cenário, respondendo por 38% em 2050. A disponibilização da CSC voltará a deixar atraente o uso de carvão para a geração de energia. A participação do gás natural na estrutura total de energia primária será em grande medida deslocada pela eficiência energética e por energia renovável.

Se a estratégia de redução de emissões enfatizar principalmente a energia nuclear, esta energia dominará a estrutura de energia primária no ano 2050. A energia nuclear substituirá inteiramente o uso do carvão e a CSC não competirá com a energia nuclear. À diferença da CSC, algumas energias renováveis serão atraentes (principalmente a biomassa e a energia eólica), participando com 23%. O nível da oferta de energia primária ficará acima do nível no cenário de referência, basicamente por causa da conversão de eletricidade em energia primária com o baixo fator de conversão de 33% (ou seja, apenas um recurso estatístico), e também pela falta presumida no exercício de outros esforços (políticos) para melhorar a eficiência energética nos setores energético e de uso final. O petróleo e o gás natural desempenham um papel menor neste cenário, enquanto o setor de transportes passa completamente para o hidrogênio produzido em usinas nucleares.

Como ficou demonstrado na análise de cenários, a estratégia de redução de emissões não depende muito do potencial dos diferentes grupos de medidas de redução. A não ser no cenário nuclear (onde graves questões seriam levantadas independente deste caminho ser tomado como viável ou não), a variedade de opções de redução possibilita diferentes estratégias. Em outras palavras, a carteira de opções para a redução de emissões inclui mais opções do que o necessário para atingir uma redução de emissões de 80% até 2050.

Os custos relacionados aos diferentes cenários (Figura 8) levantam duas observações principais. Em primeiro lugar, persistem incertezas importantes e diferenciadas para os dois cenários. A variedade de tecnologias usadas no cenário focado na efi-

**Figura 8.** CUSTOS CUMULATIVOS E ANUAIS PER CAPITA PARA OS DIFERENTES CENÁRIOS



**Fonte:** EK (2002).

ciência e nas energias renováveis faz com que a faixa de preços seja maior do que nos cenários em que uma só tecnologia assume um papel mais dominante. Segundo, comparados com os custos totais do sistema, os custos da redução não são baixos mais ficam em um nível aceitável. Os custos da redução em 2050 chegam a, no máximo, 2% do produto interno bruto (PIB real). A avaliação do cenário nuclear depende em grande medida das suposições quanto aos custos futuros das tecnologias nucleares. Se a análise for baseada em suposições relativamente “otimistas”, o uso da energia nuclear será atraente. Se forem usados parâmetros mais “pessimistas” para os custos, estes serão comparáveis com os outros cenários. Porém, se além dos desafios da mudança climática, forem considerados também os custos externos da energia nuclear (com uma ampla gama de suposições sobre as quais não há consenso), as

diferenças de custo entre o cenário nuclear e os outros diminuem muito ou levam a vantagens de custos para os cenários sem energia nuclear.

Se bem que nem todos os resultados do exercício de modelagem na Alemanha podem ser extrapolados para outros países e regiões, e persistem muitas incertezas e sensibilidades nestas projeções a longo prazo, podemos extrair algumas lições básicas:

- Existe uma plêiade de opções de redução para elaborar estratégias consistentes para caminhos ambiciosos de redução de emissões. A eficiência energética e as energias renováveis terão papéis em todas as estratégias, mas não há argumento algum para fazer da energia nuclear uma opção indispensável.
- Os custos da redução não são desprezíveis para alcançar metas ambiciosas de redução de emissões. A 2% do PIB em 2050, porém, ficam em um patamar aceitável, comparados aos custos do aquecimento global. O nível da meta de redução de emissões terá um impacto muito mais importante sobre os custos, do que a composição da carteira de opções para a redução.
- Além do risco do aquecimento global e os custos da redução das emissões, outros riscos precisam ser considerados também. Há graus suficientes de liberdade para permitir a implementação de uma estratégia geral de minimização de riscos.

O debate ainda em curso quanto à magnitude dos custos externos do aquecimento global e também da energia nuclear indica que o cerne do problema envolve decisões sobre valores. Esta conclusão não deve ser aplicada apenas ao desafio do aquecimento global. Uma estratégia de minimização de riscos, com metas ambiciosas de redução de emissões e a eliminação gradual da energia nuclear, é viável em termos de seu potencial e aceitável em termos dos custos. O padrão de risco específico da energia nuclear deixaria muito mais vulneráveis, em termos de sua solidez e potencial inovador, as estratégias ambiciosas para o clima que dessem à energia nuclear um papel preponderante.

## 7. CONCLUSÕES

---

O aquecimento global deverá ser um dos desafios mais importantes do Século XXI. A magnitude dos danos potenciais e a longa escala temporal dos impactos e respostas constituem um padrão especial de risco (tipo “Cassandra”). No entanto, a mudança climática não é o único grande risco para a saúde, os ecossistemas e as estruturas sociais e econômicas. As conseqüências potenciais da energia nuclear (acidentes desastrosos, disposição de resíduos, proliferação, etc.) constituem um padrão de risco diferente (tipo “Dámocles”) que também deve ser considerado com seriedade. A percepção de que nenhuma opção de redução por si só será suficiente para alcançar a redução de emissões necessária para estabilizar a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera em níveis que limitem o aquecimento global a uma dimensão tolerável faz parte do conhecimento já partilhado no debate sobre o clima. A questão quanto as opções isoladas de redução, como a energia nuclear, se poderiam ou deveriam ser eliminadas da carteira de medidas de redução é muito mais difícil e polêmica. Uma análise das interações entre as diferentes opções de redução demonstra que, além do fato de a energia nuclear não ser indispensável em estratégias ambiciosas de redução de emissões, o caminho nuclear pode não só ser o caminho errado, mas também criar um potencial de obstrução.

- Algumas necessidades de infra-estrutura e de flexibilidade para o sistema elétrico com energias renováveis e CSC podem ser comprometidas pelas exigências da geração de energia nuclear, se esta crescer de maneira significativa.
- Enquanto se pode presumir efeitos do aprendizado e uma redução de custos com as energias renováveis e a CSC a médio prazo, a energia nuclear vai causar uma

carga adicional de custos nos mesmos prazos, se a cadeia nuclear passar por um ajuste profundo em razão da disponibilidade de recursos, problemas não resolvidos de resíduos, etc.

- A contribuição mais importante para reduções ambiciosas de emissões, na perspectiva da eficiência dos custos, virá de uma grande melhora da eficiência energética tanto no setor energético como nos setores de uso final. Devido aos múltiplos entraves e barreiras, serão necessários esforços políticos de longo prazo para desenvolver estes potenciais. A polêmica sobre a energia nuclear frequentemente mascara esta necessidade.

Considerando este emaranhado de interações, um conjunto de estratégias para o curto, médio e longo prazo é necessário e possível. Se a energia nuclear não for vista como indispensável a curto prazo, a substituição de combustíveis, do carvão para o gás no setor elétrico, deve ser enfatizada nas próximas duas a três décadas, em conjunto com grandes esforços para melhorar a eficiência energética nos setores de energia e de usos finais. Este enfoque seria uma ponte para a era quando a curva de aprendizado sobre as energias renováveis tiver reduzido significativamente seus custos, e quando os esforços de P&D sobre a CSC trouxer resultados.

A análise apresentada neste estudo indica que uma estratégia geral de minimização de riscos pode ser desenvolvida e implementada. Metas ambiciosas de redução de emissões podem ser atingidas com ou sem a energia nuclear, incorrendo custos que não extrapolam a capacidade de sociedades modernas. No contexto da transformação necessária e fundamental do sistema energético global, uma estratégia para o clima sem energia nuclear enseja uma estratégia provavelmente mais inovadora e mais consistente.



## 8. REFERÊNCIAS

---

- Blasing, T.J.; Jon, S. (2005): Current Greenhouse Gas Concentrations. Atualizado em fevereiro de 2005. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge National Laboratory ([http://cdiac.esd.ornl.gov/pns/current\\_ghg.html](http://cdiac.esd.ornl.gov/pns/current_ghg.html))
- Ecofys (2004): Options for the second commitment period of the Kyoto Protocol. Report for the German Federal Environmental Agency. Colônia, novembro de 2004.
- EK (Enquete-Kommission "Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung" des 14. Deutschen Bundestages) (2002): Bericht der Enquete-Kommission. Bundestags-Drucksache 14/9400.
- Ewers, H.-J.; Rennings, K. (1991): Die volkswirtschaftlichen Kosten eines Super-GAUS' in Biblis. Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, 4/1991, 379-396.
- Ewers, H.-J.; Rennings, K. (1994): Economics of Nuclear Risks – A German Study. In: Hohmeyer/Ottinger: Social Costs of Energy – Present Status and Future Trends. Proceedings of an international Conference, Racine, Wisconsin, 8-11 setembro, 1992.
- Frogatt, A. (2005): Nuclear Reactor Hazards. Nuclear Issues Paper No. 2. Berlin: Fundação Heinrich Böll.
- Hare, B., Meinshausen, M. (2004): How much warming are we committed to and how much can be avoided? PIK Report Nr. 93. Potsdam: PIK.
- ICCEPT (Imperial College Centre for Energy Policy and Technology) (2002): Assessment of Technological Options to Address Climate Change. A Report for the Prime Minister's Strategy Unit. Londres, 20 dezembro, 2002.
- AIE (Agência Internacional de Energia) (2000): Experience Curves for Energy Technology Policy. Paris: OCDE/AIE.
- AIE (Agência Internacional de Energia) (2004a): World Energy Outlook 2004. Paris: OCDE/AIE.
- AIE (Agência Internacional de Energia) (2004b): Prospects for CO<sub>2</sub> Capture and Storage. Paris: OCDE/AIE.
- AIE (Agência Internacional de Energia) (2005a): Electricity Information 2005. Paris: OECD/AIE.

- AIE (Agência Internacional de Energia) (2005b): Legal Aspects of Storing CO<sub>2</sub>. Paris: OCDE/AIE.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2000): Special Report Emissions Scenarios. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2001): Climate Change 2001: Mitigation. A Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) (2005): IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage.
- Jochem, E. (2000): Energy End-Use Efficiency. In: PNUD/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. Nova Iorque: PNUD, 173-217.
- Kreusch, J.; Neumann, W.; Appel, D.; Diehl, P. (2005): The nuclear fuel cycle. Nuclear Issues Paper No. 3. Berlin: Fundação Heinrich Böll.
- Lovins, A.B. (2005): Nuclear power: economics and climate-protection potential. Rocky Mountain Institute ([www.rmi.org/sitepages/pid171.php@E05-08](http://www.rmi.org/sitepages/pid171.php@E05-08))
- Marland, G.; Boden, T.A.; Andres, R. J. (2005): Global, Regional, and National CO<sub>2</sub> Emissions. In Trends: A Compendium of Data on Global Change. Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., EUA.
- Meinshausen, M. (2005): On the risk of overshooting 2°C. Scientific Symposium "Avoiding Dangerous Climate Change" Exeter, Met Office, UK, 2 fevereiro 2005.
- Meinshausen, M.; Hare, B.; Wigley, T.M.L.; van Vuuren, D.; den Elzen, M.G.J., and Swart, R. (2005): Multi-gas emissions pathways to meet climate targets. Climatic Change, no prelo.
- Nassauer, O. (2005): Nuclear energy and proliferation. Nuclear Issues Paper Nº. 4. Berlin: Fundação Heinrich Böll.
- NERAC (Nuclear Energy Research Advisory Committee) (2002): A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems. Washington, D.C.: US DOE NERAC.
- Pacala, S.; Socolow, R. (2004): Stabilization Wedges: Solving the Climate Problem for the Next 50 Years with Current Technologies. Science 305 (2004) 968-972.
- Pehnt, M.; Cames, M.; Fischer, C.; Praetorius, B.; Schneider, L.; Schumacher, K.; Voß, J.-P. (2005): Micro Cogeneration. Towards decentralized energy systems. Berlin/Heidelberg: Springer.

- Price, R.R.; Blaise, J.R.; Vance, R.E. (2004): Uranium production and demand. Timely mining decisions will be needed. NEA News 2004 – No. 22.1.
- Rogner, H.-H. (2000): Energy Resources. In: PNUD/UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: PNUD, 135-171.
- Rothwell, G.; van der Zwaan, B. (2003): Are light-water reactor energy systems sustainable? The Journal of Energy and Development 29 (2003) No. 1, 65-79.
- Sailor, W.C.; Bodansky, D.; Braun, C.; Fretter, S., and van der Zwaan, B. (2000): A Nuclear Solution to Climate Change?. Science 288 (2000) 1177-1178.
- Schrattenholzer, L.; Miketa, A.; M Riahi, K.; Roehrl, R.A. (2004): Achieving a Sustainable Global Energy System. Identifying possibilities using long-term Energy Scenarios. ESRI Studies on the Environment, Cheltenham: Edgar Elgar.
- Shell (2002): Energy Needs, Choices and Possibilities Scenarios to 2050. Scenarios to 2050. Shell International.
- Thomas, S. (2005): The economics of nuclear power. Nuclear Issues Paper No. 5. Berlin: Heinrich Böll Foundation.
- Turkenburg, W.C. (2000): Renewable Energy Technologies. In: PNUD /UNDESA/WEC: Energy and the Challenge of Sustainability. World Energy Assessment. New York: PNUD, 219-272.
- PNUD (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento)/UNICEF (Programa das Nações Unidas para a Infância) (2002): The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident. A Strategy for Recovery. Relatório contratado pelo PNUD e UNICEF com o apoio da UN-OCHA e da OMS. Nova Iorque: PNUD.
- van der Zwaan, B.; Rabl, A. (2004): The learning potential of photovoltaics: implications for energy policy. Energy Policy 32 (2004) 1545-1554.
- van der Zwaan, B.C.C. (2002): Nuclear energy: Tenfold expansion or phase-out? Technological Forecasting & Social Change 69 (2002) 287-307.
- WBGU (Conselho Assessor Alemão sobre Mudança Global) (2000): Strategies for Managing Global Environmental Risks. Berlin/Heidelberg: Springer.
- WBGU (Conselho Assessor Alemão sobre Mudança Global) (2003): Climate Protection Strategies for the 21st Century: Kyoto and beyond. Relatório especial. Berlin: WBGU.
- WBGU (Conselho Assessor Alemão sobre Mudança Global) (2004): Towards Sustainable Energy Systems. London: Earthscan.

## SIGLAS E ABREVIações

BAU - “Business As Usual”, ou projeção linear de tendências atuais

cap - per capita

CSC - captura e seqüestro de carbono

CO<sub>2</sub> - dióxido de carbono

ECBM - enhanced coalbed methane recovery

EJ - exajoule

EOR - “enhanced oil recovery”

PIB - produto interno bruto

Gt - gigatoneladas (bilhões de toneladas)

PAG - potencial de aquecimento global

AIE - Agência Internacional de Energia

IGCC - “integrated gasification combined cycle”, gaseificação integrada em ciclo combinado

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

km - quilómetro

m<sup>2</sup> - metro quadrado

Mt - megatoneladas (milhões de toneladas)

NBQ - [Armas] nucleares, biológicas e químicas

OCDE - Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Económico

ppm - partes por milhão

ppt - partes por trilhão

P&D - Pesquisa e Desenvolvimento

SO<sub>2</sub> - dióxido de enxofre

t - tonelada métrica

TWh - terawatt-horas (bilhões de kilowatt-horas)

UNFCC - Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas

W - watt

# Energia Nuclear

# Mito e Realidade

OS RISCOS E AS PERSPECTIVAS DA ENERGIA NUCLEAR

Nuclear Issue Papers

GERD ROSENKRANZ

## **O AUTOR:**

Gerd Rosenkranz é doutor em Ciência dos Materiais e formado em Engenharia Metalúrgica. Após estudos de pós-graduação em Ciência da Comunicação, trabalhou por 20 anos como jornalista em jornais diários e semanais, e, mais recentemente, durante cinco anos (até 2004), como editor do escritório de Berlim da revista Der Spiegel, especializando-se em política ambiental e energética. Desde outubro de 2004, é diretor de política no escritório de Berlim da Deutsche Umwelthilfe e. V.

Este estudo não representa necessariamente as opiniões da Fundação Heinrich Böll

Uma publicação do Escritório Regional da Fundação Heinrich Böll na África Austral, em cooperação com a matriz da Heinrich Böll Stiftung, Berlim.

### **Contatos:**

Heinrich Böll Foundation Regional Office for Southern Africa, PO Box 2472; Saxonwold, 2132; África do Sul. Phone: +27-11-447 8500. Fax: +27-11-447 4418. [info@boell.org.za](mailto:info@boell.org.za)

Heinrich Böll Stiftung, Rosenthaler Str. 40/41, 10178 Berlim, Alemanha. Tel.: ++49 30 285 340; Fax: ++49 30 285 34 109; [info@boell.de](mailto:info@boell.de); [www.boell.de/nuclear](http://www.boell.de/nuclear)

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	80
2. Um LEMBRETE: O RISCO PERSISTENTE DO ESQUECIMENTO .....	81
3. SEGURANÇA: A QUESTÃO CRUCIAL PARA A ENERGIA NUCLEAR .....	83
4. ATAQUES SUICIDAS: UMA NOVA DIMENSÃO DA AMEAÇA .....	91
5. USINAS DE ENERGIA NUCLEAR: ALVOS RADIOATIVOS NA GUERRA CONVENCIONAL .....	94
6. GÊMEOS SIAMESES: AS APLICAÇÕES CIVIS E MILITARES DA ENERGIA NUCLEAR .....	96
7. O CICLO ABERTO: VAZANDO NA ENTRADA E NA SAÍDA .....	101
8. A PROTEÇÃO NUCLEAR DO CLIMA: PROPOSTAS INGÊNUAS .....	108
9. ENERGIA NUCLEAR BARATA: SE O ESTADO PAGAR A CONTA .....	114
10. CONCLUSÃO: RENASCIMENTO DE DECLARAÇÕES .....	125

# 1. INTRODUÇÃO

---

As profundas divergências sobre a energia nuclear remontam aos primórdios de seu uso comercial. Os primeiros sonhos de seus defensores já esvaececeram, porém os riscos continuam, junto com o perigo de abusos em mãos de militares. O terrorismo colocou uma ameaça dramática e concreta. O aquecimento global e o caráter finito dos combustíveis fósseis não dissipam as grandes preocupações sobre a segurança da energia nuclear. Enquanto isso, um reator “a prova de acidentes” permanece há décadas no reino das grandes promessas não cumpridas.

O aquecimento artificial da atmosfera terrestre sem dúvida será um dos grandes desafios do Século XXI. Há, porém, meios menos perigosos para lidar com o problema do que lançando mão da energia nuclear. A energia nuclear não é sustentável porque a oferta de seu material combustível físsil é tão limitada quanto a dos combustíveis fósseis, como o carvão, o petróleo e o gás natural. Além disso, seus subprodutos radioativos precisam permanecer isolados da biosfera durante períodos de tempo que superam a capacidade da imaginação humana.

A energia nuclear não é uma tecnologia de alto risco apenas por questão de segurança, mas também pelo risco financeiro. Sem subsídios públicos, não tem o menor futuro em uma economia de mercado. Mesmo assim, há empresas que continuam lucrando com a energia nuclear, sob condições específicas, controladas pelo Estado. Estender as licenças de velhos reatores é tudo que os operadores desejam, mas aumenta desproporcionalmente o risco de um grande acidente. Sempre haverá também os regimes que enxergam e promovem o uso civil da fissão nuclear como passo para a aquisição de uma bomba atômica. Depois, como ficou claro pelo menos desde



o 11 de setembro de 2001, estas unidades vulneráveis e perigosas representam um alvo a mais para forças violentas e inescrupulosas não-governamentais. Por esta razão também, a energia nuclear continuará cindindo a opinião pública enquanto for usada.

## 2. UM LEMBRETE: O RISCO PERSISTENTE DO ESQUECIMENTO

---

Os fatos sucedidos na noite do 10 de abril de 2003, no tanque de armazenamento para elementos de combustível da usina nuclear em Paks, lembram os dois eventos que marcaram de forma negativa a história da energia nuclear civil, a saber os desastres nucleares na usina americana de Three Mile Island, em Harrisburg em março de 1979, e o de Chernobyl na Ucrânia, em abril de 1986.

Falhas de projeto imperdoáveis, monitoramento frouxo, instruções de operação erradas, falta de juízo sob condições estressantes e, sem ser o menor dos fatores, a confiança ingênua em uma tecnologia sensível – todos esses fatores eram bem conhecidos antes daquela quinta-feira na Hungria, não apenas pelas experiências em Harrisburg e Chernobyl, mas também pelos eventos na usina inglesa de reprocessamento em Sellafield, no reator regenerador de Monju, na usina japonesa de reprocessamento em Tokaimura e na usina alemã de Brunsbüttel, no Rio Elba. Onde quer que as pessoas trabalhem, elas erram. E elas podem, às vezes, ter a felicidade de ver uma seqüência de erros – sempre rotulada de “inexplicável” – não produzir conseqüências tão graves quanto aquelas na Ucrânia e seus vizinhos, em 1986. No bloco 2 da usina de energia nuclear em Paks, localizada a 115 quilômetros ao sul da capital Budapeste, os danos se limitaram ao super-aquecimento e à destruição de 30 peças contendo combustível altamente radioativas, transformadas em uma massa radioativa no chão de um

tanque de aço, inundado com água. O evento se limitou a uma liberação maciça de gases radioativos inertes, que fluíram para a sala do reator, da qual os operadores já haviam fugido em pânico. Mais tarde, estes gases foram expelidos para o ar do lado de fora por um ventilador a toda força durante 14 horas, para deixar a sala acessível a pessoas vestindo equipamento de proteção contra a radiação.

O nome Paks hoje representa o acidente mais grave em um reator nuclear europeu desde Chernobyl. Além disto, o material altamente radioativo foi superaquecido do lado de fora do prédio de contenção de segurança erguido com muros de concreto. Além das fronteiras da Hungria, no entanto, o mundo mal tomou conhecimento do inferno nuclear que borbulhou dentro de uma instalação móvel para a limpeza de elementos de combustível. Horrorizados, os especialistas húngaros e estrangeiros que reconstruíram a sucessão de eventos, na mesma noite, se deram conta que o resultado poderia ter sido muito pior. A ausência de preocupação internacional sobre o acidente em Paks não foi o único elemento insólito da história. Este acidente dramático representou o lançamento de uma inédita parceria de uma equipe de especialistas em reatores com técnicos tanto da Europa Ocidental como da Oriental, que em conjunto e de comum acordo haviam causado uma falha grave através de uma reação em cadeia envolvendo descaso, erros de gestão e rotinas impensadas. Os participantes incluíam engenheiros de projeto e operadores do grupo franco-alemão de energia nuclear Framatome ANP (subsidiária da empresa francesa Areva e da alemã Siemens), equipes de operadores da usina nuclear em estilo soviético de Paks e especialistas da autoridade nuclear reguladora húngara em Budapeste. Todos são parcialmente responsáveis, e todos se saíram relativamente bem do caso.

Os 30 elementos de combustível, que constituíam um décimo da carga total do núcleo reator, não ficaram suficientemente resfriados pelo processo de limpeza química. Fizeram ferver a água de refrigeração no tanque de limpeza, que em seguida se evaporou, elevando a temperatura até 1.200°C e, finalmente, se despedaçaram feito porcelana. Nesse momento os operadores, exaustos após várias tentativas de evitar

uma catástrofe, soltaram um jato de água gelada em cima deles. Segundo os físicos especialistas em reatores, poderia ter ocorrido uma explosão nuclear nesse momento, ou seja, uma reação em cadeia limitada, porém, descontrolada. Isto teria provado conseqüências desastrosas para a área de Paks e da região como um todo.

### **3. SEGURANÇA: A QUESTÃO CRUCIAL PARA A ENERGIA NUCLEAR**

---

Os promotores da energia nuclear estão visivelmente animados com o arrefecimento do debate sobre seu uso. Sob a influência da mudança do clima e da explosão do preço do petróleo, o tratamento hoje é mais “sóbrio e comportado”. Os amigos da geração de eletricidade com energia nuclear ficam particularmente satisfeitos com a mudança do foco da discussão das questões fundamentais de segurança para questões associadas com a economia, com a proteção ambiental e com a conservação de recursos. Eles vislumbram uma evolução na opinião pública para visões da energia nuclear como uma tecnologia entre muitas, a ser comparada com as usinas a carvão ou os moinhos de vento. A fissão nuclear está se acomodando dentro do triângulo usado por economistas para enquadrar o debate sobre política energética, a saber, viabilidade econômica, confiabilidade de oferta e compatibilidade ambiental. Seus defensores pouco se incomodam com o fato de que, mesmo dentro destes limites, muitas questões permanecem quanto à conveniência da energia nuclear. Eles estão gostando. Para eles, o que importa é que é cada vez mais possível ocultar o potencial singular da energia nuclear para provocar catástrofes, por trás de uma muralha de argumentos que nos distraem dos assuntos fundamentais, das várias dimensões da segurança. Este novo ambiente não surge por acaso. Ele foi criado por uma estratégia deliberada e tenaz, implementada durante anos por operadores e vendedores nos principais países produtores de energia nuclear.

A tática bem sucedida de distração pode acalmar o debate público. Mas não reduz a probabilidade de um desastre nuclear. O risco de um grande acidente – um que ultrapasse o pior acidente imaginado para o qual o sistema de segurança foi projetado – combinado com o fato que este risco nunca poderá ser excluído, sempre será a fonte primordial do conflito sobre a energia nuclear. Constitui em última instância, a base para todos os argumentos contra esta forma de conversão de energia. A aceitação – regional, nacional e global – se garante ou cai por conta desse risco. Desde Harrisburg, e mais ainda, desde Chernobil, a indústria nuclear veicula a promessa de reatores nucleares à prova de acidente, como forma de reconquistar a aceitação do público. Há um quarto de século, os construtores de reatores formulavam a mesma promessa no vocabulário criptografado de “usina de energia nuclear inerentemente segura”. Os americanos chamavam esses projetos de reatores “walk-away” (alusão à perspectiva de “sair andando” de um acidente), e afirmavam que a possibilidade de um núcleo derretido, ou de algum outro acidente grave, poderia ser fisicamente excluída. “Mesmo no caso do pior de todos os acidentes concebíveis,” vociferava o vice presidente de uma vendedora de reatores norte-americana na época, “você poderia ir para casa, almoçar, tirar uma soneca e depois voltar e cuidar do caso – sem o mínimo de preocupação ou pânico.”<sup>1</sup> Aquela grandiosa declaração continua sendo o que era então: uma promissória não cobrada contra o futuro. Em 1986, o historiador alemão da tecnologia Joachim Radkau já sugeria que a usina nuclear a prova de acidente era “uma promessa de mundos e fundos feita em tempos de crise mas nunca cumprida.”<sup>2</sup>

A Comunidade Européia de Energia Atômica (Euratom) e dez países que possuem usinas nucleares ativas já falam em linguagem neutra da “4ª. Geração”, ao se referirem ao futuro da tecnologia de reatores. Esta próxima série de reatores, equipados com sistemas inovadores de segurança, não promete mais ser à prova de imbecis, como seus antecessores que nunca se concretizaram. Mas é promovida como mais econômica, menor, menos suscetível a abusos militares, e portanto, mais

1 Citado em Peter Miller, “A Comeback for Nuclear Power? Our Electric Future”, na revista *National Geographic*, agosto de 1991, p. 60-89. (Nota do tradutor: Traduzido do alemão para o inglês, e depois para o português).

2 “Chernobyl in Deutschland?” in *Spiegel* 20/1986; pp. 35-36.

aceitável aos olhos da opinião pública. Os primeiros reatores desta série devem começar a gerar eletricidade perto de 2030, na versão oficial. Em “off”, mesmo alguns dos defensores mais conhecidos não esperam o início da operação comercial “antes de 2040 ou 2045”.<sup>3</sup> Esta promessa para o futuro fatalmente nos lembra daquela feita pelos pesquisadores da fusão. Em 1970, eles previram que a fusão nuclear, ou seja a fusão controlada de átomos de hidrogênio como a que acontece no sol, já estaria gerando eletricidade antes do ano 2000. Hoje, ninguém mais fala da comercialização da fusão nuclear antes de meados do Século XXI, se é que vai mesmo acontecer algum dia.

Ao prometer uma quarta geração de reatores sem segurança absoluta, a indústria nuclear abandona de mansinho suas garantias do passado. Enquanto isso, os debates corriqueiros se satisfazem até com a noção de “segurança relativa”, e mais especificamente com a afirmação mal compreendida mas repetida com gosto por não especialistas, que “nossa usinas nucleares são as mais seguras do mundo”. A veracidade desta declaração – muito popular na Alemanha – realmente nunca foi comprovada. Não é, de fato, muito plausível que usinas nucleares construídas nos anos 60 e 70, com projetos baseados em conhecimentos e tecnologias dos anos 50 e 60, possam comprovar um nível adequado de segurança. Até alguém impedir que os defensores da energia nuclear na França, nos EUA, na Suécia, no Japão e na Coreia do Sul reivindicem precisamente isto para seus reatores, porém, todos se dão por satisfeitos. Não existe uma “comunidade nuclear” nacional que não coloque suas próprias usinas nucleares na vanguarda da tecnologia mundial, ao menos quando falam em público. Na Europa Oriental também, circulam com cada vez mais frequência as assertivas garantindo que programas de readaptação (“retrofit”) nos últimos 15 anos elevaram a segurança de reatores da era soviética para padrões ocidentais, e em alguns casos, até além disto. Dizem, por exemplo, que ficaram menos sensíveis a falhas nos processos físicos dos reatores. Não há necessidade de acordos formais sobre estas versões oficiais. O recado geral é que não há motivo para alarme.

<sup>3</sup> Afirmação do então presidente da EDF, Francois Roussely, em 23 de novembro de 2003, no Comitê Econômico e Ambiental da Assembléia Nacional Francesa, citado em Mycle Schneider, *Der EPR aus französischer Sicht*. Memo im Auftrag des BMU, p.5.

Desse jeito, o nível de alarme de fato está caindo, a nível nacional e internacional. A questão vital então continua sendo o preço que a humanidade se dispõe a pagar por esta calma na frente nuclear. Qual o significado para a segurança de reatores no mundo o fato de que os quase-desastres, como o de Paks, serem discutidos apenas entre círculos fechados de especialistas? Defensores da energia nuclear já foram vistos atribuindo a segurança supostamente alta de usinas alemãs a, entre outras coisas, a força do movimento anti-nuclear na Alemanha Ocidental, e a uma atitude teimosamente negativa para com os reatores, por parte de um público bem-informado. Nesta perspectiva, foram as dúvidas penetrantes e o crescimento de uma “opinião pública crítica e informada” que permitiram que as usinas nucleares adquirissem as salvaguardas mais sofisticadas na história desta tecnologia contra os acidentes e incidentes, salvaguardas que ainda hoje estão presentes. Se isto for verdade, no entanto, o inverso também pode ser aplicado: a crescente complacência da opinião pública pode comprometer a segurança.

Vinte anos depois de Chernobil, qual é a imagem de uma revisão realista de segurança? Depois do auge de atenções para riscos na esteira do núcleo ucraniano derretido, houve algum avanço real na segurança dos reatores? Ou, pelo contrário, será que a carta do próximo grande acidente já foi dada?

Ninguém pode negar que o setor nuclear, como todos os outros em geral, se beneficiou dos avanços do desenvolvimento tecnológico. A revolução ocorrida na tecnologia da informação e comunicação, depois da construção da maioria dos reatores comerciais existentes no mundo, conferiu clareza aos processos de controle e de monitoramento, e confiabilidade às operações rotineiras. Quando foram projetadas as usinas mais velhas que ainda hoje estão em operação, os computadores funcionavam a base de cartões perfurados. Ainda estão sendo instalados retroativamente em muitas usinas, modernos sistemas de controles, inclusive em algumas bem velhas. As simulações computadorizadas e os experimentos revelam a física e outros fatores complexos em processos normais dos reatores, principalmente no caso de um mal-

funcionamento. Hoje em dia, as operadoras usam seus simuladores para ensaiar respostas a acidentes que sequer poderiam ter sido modelados há vinte ou trinta anos. Alguns de fato eram inimagináveis. Os técnicos de segurança também se beneficiam das análises avançadas de probabilidade e de constantes progressos nos sistemas de testes e de monitoramento, que aos poucos vão sendo incorporados retroativamente nas usinas velhas também.

As operadoras de reatores também se comprometem a aprender com os erros do passado. Destacam a fundação da Associação Mundial de Operadoras Nucleares (World Association of Nuclear Operators-WANO), que organiza uma troca de informações com transmissão rápida de dados sobre acidentes para seus sócios. As operadoras podem aproveitar a experiência de mais de 11.000 anos de operação de reatores em escala mundial. Mas isto não garante um “novo nível de segurança” para as usinas de energia nuclear. O fato de não ter havido acidentes envolvendo o derretimento de núcleo desde Chernobyl e Harrisburg não significa que eles não possam voltar a ocorrer. Paks nos deu o lembrete mais próximo disto em tempos recentes. Perto de três entre cada quatro reatores atualmente em operação já funcionavam em 1986. A natureza dos cálculos de probabilidade é tal que um acidente grave pode acontecer hoje, ou só daqui a cem anos. Onze mil anos de operação dos reatores, portanto, não constituem evidência do contrário. Quando a indústria nuclear foi atingida por seu primeiro derretimento de núcleo na usina comercial de Harrisburg em 1979, os manifestantes anti-nucleares no sul da Alemanha distribuíram panfletos zombando das grandes garantias de segurança dos engenheiros, com a amarga ironia: “Um acidente apenas a cada 100.000 anos – como voa o tempo!”

Gerentes como Harry Roels, que é Diretor-presidente do grupo de energia alemão RWE, qualifica os esforços para estender os prazos das licenças de reatores no mundo inteiro como “completamente defensável em termos de tecnologia de segurança”.<sup>4</sup> Walter Hohfelder, Diretor-presidente da operadora de usinas de energia nuclear E.ON Ruhrgas e presidente do Fórum Alemão de Energia Atômica, por sua

<sup>4</sup> *Frankfurter Rundschau*, 12 de agosto de 2005, p.11.

vez, explica com a maior falta de seriedade que estender as licenças faz “a oferta de eletricidade mais segura”.<sup>5</sup> O mais assustador nestas afirmações é que grandes setores da opinião pública não duvidam mais delas. É uma aventura muito audaz, as operadoras passarem a impressão que as usinas de energia nuclear – ao contrário dos automóveis ou aviões – ficam mais seguros com a idade. Conseguem com isso contrariar não apenas o senso comum, mas também, e infelizmente, as leis da física.

A frota global de reatores está “envelhecendo”. Este termo inócuo é como uma fachada que oculta um imenso edifício de conhecimentos especializados sobre as tecnologias de materiais e de metais. Estas disciplinas trabalham com mais do que o simples “desgaste”, mas com as mudanças altamente complexas nas superfícies e na substância de materiais metálicos. É muito difícil calcular estes processos e suas conseqüências em nível atômico. É igualmente difícil para um sistema de monitoramento identificá-los com segurança, e acima de tudo oportunamente, quando altas temperaturas, fortes cargas mecânicas, ambientes químicos agressivos e o constante bombardeio de nêutrons da fissão nuclear trabalham conjunta e simultaneamente sobre componentes que são vitais para a segurança. A corrosão, os danos por radiação e as fissuras de superfícies e de costuras soldadas em elementos centrais vêm todos acontecendo ao longo das últimas décadas. Acidentes sérios são evitados freqüentemente, porque os danos são descobertos a tempo pelos sistemas de monitoramento ou por verificações rotineiras durante tempos de paralisação e de reparos. Às vezes as descobertas são puramente fortuitas.

Também devemos considerar os impactos da desregulamentação de mercados de eletricidade em muitos países que possuem usinas de energia nuclear. A desregulamentação induz à “consciência de custos” em cada usina, com conseqüências bem concretas, como a diminuição da força de trabalho, maiores intervalos entre verificações e prazos menores que aumentam a pressa nos trabalhos de reparos e de substituição das varetas de combustível. Nada disto induz à segurança.

<sup>5</sup> *Berliner Zeitung*, 9 de agosto de 2005, p. 6.



Em poucas palavras, se as operadoras dos reatores vencerem e conseguirem estender as licenças das usinas para 40 ou inclusive 60 anos, a idade média atual dos reatores de 22 anos vai dobrar ou até triplicar no futuro. Este fato aumentará substancialmente o risco geral de um acidente grave. Construir novas usinas da chamada “3ª Geração” pouco mudará. Durante décadas, elas responderão por apenas uma pequena parte da frota mundial de reatores, e também não são fisicamente imunes a acidentes. Os críticos afirmam, por exemplo, que o Reator Europeu de Água Pressurizada (European Pressurized Water Reactor-EPR) – que vem sendo projetado desde o final dos anos 80 e cujo protótipo está em construção na Finlândia – é apenas um meio passo para além dos reatores pressurizados em operação na França e na Alemanha desde os anos 80. O EPR está sendo projetado para evitar as consequências de um derretimento de núcleo por via de uma unidade sofisticada de contenção (“core catcher”, ou apanhador de núcleos). Como o projeto aumenta consideravelmente os custos, a escala da usina teve que ser incrementada progressivamente para a usina, ao menos, ser mais econômica do que suas predecessoras. Saber se esta contenção, baseada em normas da mais recente série alemã (KONVOI), seria capaz de resistir ao choque deliberado de um jato de passageiros com os tanques cheios, permanece um interrogante em aberto.

Sequer as operadoras de reatores acreditam que o acúmulo de experiência com as operações e as vidas operacionais mais longas das usinas individuais reduzam a probabilidade de um acidente grave. Em uma reunião em 2003 da Associação Mundial de Operadoras Nucleares (WANO) em Berlim, os participantes relacionaram oito “incidentes sérios” nos anos anteriores que haviam suscitado preocupações – mesmo que chamando a atenção apenas dos próprios especialistas em reatores, como vimos no caso de Paks. A relação de incidentes com resultados potencialmente desastrosos incluíram os seguintes casos:

- Vazamentos nas varetas de controle no mais novo reator britânico Sizewell B (inaugurado em 1995);

- Concentração insuficiente de boro no sistema de refrigeração de emergência do reator Philippsburg-2 em Baden-Württemberg;
- Danos de natureza inédita à montagem do elemento combustível, no bloco 3 da usina de energia francesa Cattenom;
- Uma grave explosão de hidrogênio em uma tubulação no reator a água fervente de Brunsbüttel, muito próximo a um vaso pressurizado do reator;
- Corrosão enorme não notada durante muito tempo em um vaso pressurizado do reator na usina Davis-Besse nos EUA, onde apenas o fino forro de aço inoxidável preveniu um vazamento maciço;
- Falsificação de dados sobre a segurança na unidade britânica de reprocessamento em Sellafield;
- Falsificação do mesmo tipo de dados com relação à operadora japonesa Tepco.

Acidentes e casos de negligência como estes – principalmente considerando sua frequência maior no passado recente – estão deixando as operadoras visivelmente mais preocupadas e conscientes de problemas do que se esperaria de defensores políticos de uma renascença da energia nuclear. Os encarregados da operação dos reatores temem as conseqüências de um fenômeno profundamente enraizado na natureza humana, que é a suscetibilidade ao suave veneno da rotina, que faz com que seja quase impossível desempenhar as mesmas atividades ao longo de anos com o grau máximo de concentração. Na conferência da WANO em Berlim, os palestrantes se queixavam não apenas das consideráveis conseqüências financeiras de casos de mal-funcionamento (perto de US\$298 milhões até outubro de 2003, só para os incidentes em Philippsburg, Paks, e Davis-Besse; enquanto 12 dos 17 reatores a água fervente operados pela japonesa Tepco foram paralisados à raiz das investigações sobre a falsificação de dados), mas também, e mais ainda, do descaso e da complacên-

cia das operadoras. Ambos “ameaçam a futura existência de nosso setor de negócios”,<sup>6</sup> advertiu um participante sueco na reunião de especialistas. O japonês Hajimu Maeda, presidente da WANO na época, diagnosticou até um “terrível mal-estar” que ameaçava o setor por dentro. Ele começa com a perda da motivação, a complacência e “descaso na manutenção de uma cultura de segurança devido a severas pressões sobre os custos, presentes nos mercados desregulamentados de eletricidade.” Este mal-estar precisa ser reconhecido e combatido. Se não, em algum momento, “um grave acidente ... vai destruir a indústria como um todo”.<sup>7</sup>

## 4. ATAQUES SUICIDAS: UMA NOVA DIMENSÃO DA AMEAÇA

---

As considerações precedentes ainda não trataram da nova dimensão da ameaça, evidente nos ataques do 11 de setembro de 2001 em Nova Iorque e em Washington, e também em confissões de muçulmanos detidos desde então. É precisamente esta ameaça, porém, que nos obriga a repensar o uso da energia nuclear.

As confissões de dois líderes da al-Qaida aprisionados indicam que as usinas nucleares constam definitivamente dos alvos contemplados pelos terroristas. Segundo essas afirmações, Mohamed Atta, que depois pilotou o Boeing 767 que entrou na torre norte do World Trade Center, já havia selecionado os dois blocos de reatores na usina de energia Indian Point, no Rio Hudson, como possíveis alvos. De fato, já existia um codinome – “engenharia elétrica” – para o ataque à usina localizada a apenas 40 quilômetros de Manhattan. O plano só foi descartado porque os terroristas temiam que o avião que dirigiriam contra a usina poderia ser alvejado antes por mísseis antiaéreos. Este tipo de atentado ganhou várias ordens de magnitude de probabilidade na seqüela do 11 de setembro.

<sup>6</sup> *Nucleonics Week*: 6 de agosto de 2003. (Nota do tradutor: Traduzido do alemão para o inglês, e depois para o português.

<sup>7</sup> *Ibid.*

Parece certo que nenhum dos 443 reatores em funcionamento no final de 2005 poderia resistir um choque deliberado de um grande jato com os tanques repletos de combustível. As próprias operadoras confirmaram isto unanimemente, pouco depois dos atentados em Nova Iorque e Washington. Sua pronta confissão, no entanto, ocultava um interesse tático. A intenção era sair de encontro a qualquer debate sobre unidades nucleares mais velhas e particularmente vulneráveis, sobre as quais poderia haver pressão pública pelo fechamento. Enquanto isso, porém, estudos científicos confirmavam as primeiras declarações dos administradores. Muitas usinas nucleares em países ocidentais industrializados foram projetados considerando a possibilidade aleatória de quedas de aviões pequenos ou militares. Alguns cenários de planejamento inclusive levavam em conta atentados terroristas que usariam lançadores de mísseis antitanque, howitzers ou outras armas. A queda aleatória de um jato de passageiros cheio de combustível era considerada tão improvável, porém, que nenhum país implementou contramedida alguma para este cenário. A idéia de um atentado deliberado no qual uma embarcação de passageiros se transforma em míssil simplesmente superava a capacidade de imaginação dos engenheiros de reatores.

Logo depois dos ataques nos EUA, a Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), uma associação sediada em Colônia, Alemanha, preocupada com a segurança dos reatores e de outras unidades nucleares, lançou um estudo abrangente sobre a vulnerabilidade das usinas nucleares alemãs, frente a atentados aéreos. Contratado pelo governo alemão, o estudo examinou não apenas a força estrutural de usinas típicas. Usando um simulador de vôo na Universidade Técnica em Berlim, meia dúzia de pilotos se chocaram milhares de vezes a diferentes velocidades, em diferentes pontos e a variados ângulos de impacto contra usinas alemãs de energia nuclear, vistas em vídeos detalhados desde a cabine do simulador. Os pilotos dos testes, como os terroristas em Nova Iorque e Washington, haviam pilotado anteriormente apenas pequenos aviões a hélice. Mesmo assim, aproximadamente metade dos atentados kamikaze simulados atingiram o alvo.

Os resultados desse estudo foram tão alarmantes que nunca foram oficialmente publicados. Apenas chegaram ao público mais tarde, em um resumo classificado como confidencial. Segundo este documento, cada choque arriscava um inferno nuclear, principalmente nos reatores mais velhos, independente do tipo, tamanho ou velocidade de impacto do avião de passageiros. O imenso choque do impacto, ou os incêndios de querosene subseqüentes, ou penetrariam diretamente no vaso de contenção ou destruiriam os sistema de tubulações. Em todos os casos, um choque direto provavelmente causaria o derretimento do núcleo e uma liberação em grande escala de radioatividade. Também estão em grande risco as unidades internas de armazenamento temporário, onde as varetas de combustível gastas, com sua enorme radioatividade, são resfriadas em tanques de água. É verdade que os reatores de séries mais recentes na maioria dos países possuem uma contenção mais estável. Segundo o estudo da GRS, porém, não pode ser excluída a possibilidade também para estes reatores de um choque direto a alta velocidade que causaria um grande acidente nuclear com a contaminação de uma grande área nas proximidades.

O cenário terrorista de um atentado aéreo deliberado não elimina os outros temores que antecediam o 11 de setembro de 2001. Ao contrário, presta-lhes uma base mais concreta e realista. Certos países industrializados com indústrias nucleares já examinaram cuidadosamente a possibilidade de atentados terroristas contra unidades nucleares usando armas ou explosivos externos, ou por meio de entrada violenta ou oculta em áreas de acesso restrito. Nunca, porém, haviam examinado esta possibilidade à luz de agressores conscientemente decididos a morrer. A assombrosa possibilidade de indivíduos que pudessem atacar uma unidade nuclear na perspectiva de serem eles mesmos as primeiras vítimas abre dezenas de cenários que ainda não foram considerados.

Da perspectiva de homens-bomba extremistas, um atentado contra uma unidade nuclear é qualquer coisa menos irracional. Pelo contrário, eles sabem que um atentado “bem-sucedido” causaria não apenas um inferno imediato e sofrimento para

milhões, mas provavelmente levaria ao fechamento de muitas outras usinas nucleares por via da precaução, desatando assim um terremoto econômico em países industrializados frente ao qual as conseqüências do 11 de setembro ficariam pequenas, em comparação. Por mais monstruosos e sem precedentes que tenham sido os ataques contra o World Trade Center e o Pentágono, eles buscavam basicamente a meta simbólica de atingir e assim humilhar, a superpotência norte-americana em seu coração econômico, político e militar. Um atentado contra uma usina nuclear dispensaria qualquer simbolismo. Atingiria a geração da energia elétrica e, por ela, o centro nervoso de toda a infra-estrutura de uma sociedade industrial. A contaminação radioativa de uma região inteira, levando possivelmente à evacuação a longo prazo de centenas de milhares ou até de milhões de pessoas, apagaria de vez a distinção entre a guerra e o terror. Nenhum outro ataque, nem sequer contra o porto petrolífero de Roterdã, teria um impacto psicológico comparável sobre os países industrializados do Ocidente. Mesmo que falhasse na intenção de causar um grande acidente nuclear, os resultados seriam horrorosos. A reação pública incendiaria o debate sobre os riscos catastróficos da energia nuclear até um patamar nunca antes visto, e levaria ao fechamento de muitas, se não de todas, usinas em vários países industrializados.

## **5.** USINAS DE ENERGIA NUCLEAR: ALVOS RADIOATIVOS NA GUERRA CONVENCIONAL

---

O novo tipo de terrorismo também está realimentando o debate sobre o “uso pacífico da energia nuclear” e a guerra. O assunto continua um tabu para a maior parte da comunidade nuclear. Em áreas tensas como a península coreana, Taiwan, Irã,

Índia ou Paquistão, os reatores existentes podem ter conseqüências tão fatais quanto não-intencionais. Quando eles entram em operação, forças inimigas não precisam de suas próprias bombas atômicas para causar a destruição radioativa. Basta uma força aérea convencional, ou até uma artilharia. Neste contexto, os que procuram vincular a energia nuclear à noção de uma “oferta segura de energia” obviamente não levaram o raciocínio adiante. Não existe outra tecnologia com a qual um único evento possa desencadear o colapso de um pilar da oferta de energia. Uma economia que dependa deste tipo de tecnologia tem uma oferta de energia que pode ser tudo menos segura. No caso de uma guerra, o país fica mais vulnerável a ataques convencionais do que uma economia que não tem este tipo de tecnologia.

Ao explicar sua decisão de passar do apoio para a oposição à energia nuclear, o físico e filósofo Carl Friedrich von Weizsäcker disse em 1985 que “a proliferação mundial da energia nuclear exige uma mudança radical mundial na estrutura política de todas as culturas que existem hoje. Exige a superação da instituição política chamada guerra, que existe pelo menos desde o começo da alta cultura.”<sup>8</sup> Von Weizsäcker concluiu, porém, que os alicerces políticos e culturais para a paz mundial ainda não estavam à vista. Nestes tempos de “violência assimétrica”, quando extremistas altamente ideologizados se preparam para uma guerra contra estados industrializados poderosos ou inclusive para um “choque de culturas”, a paz sustentável no mundo retrocedeu mais ainda do que quando von Weizsäcker formulava sua visão em 1985.

As ameaças a usinas de energia nuclear no curso de um conflito armado já passam de mera hipótese. No conflito nos Bálcãs no início dos anos 90, por exemplo, o reator nuclear na cidade eslovena de Krsko podia ter virado alvo em várias ocasiões. Bombardeiros iugoslavos voaram por cima do reator para acenar com a possível intensificação das hostilidades. Não há nada que indique que Israel teria desistido do ataque aéreo contra as obras do reator de pesquisa Osirak no Iraque, se a usina de 40 megawatts já estivesse em operação. O ataque foi defendido como

<sup>8</sup> Citado em Klaus Michael Meyer-Abich e Bertram Schefold, *Die Grenzen der Atomwirtschaft*, (Munique, 1986), pp.14/16.

um golpe preventivo contra a tentativa de Saddam Hussein de construir a primeira “bomba islâmica”. Em retaliação, Saddam Hussein apontou seus mísseis Scud contra a sede nuclear israelense em Dimona. Finalmente, começaram no final de 2005 os rumores sobre planos israelenses para atacar unidades nucleares secretas no Irã.

Existem, portanto, vários cenários plausíveis nos quais as partes envolvidas em uma guerra ou conflito armado resolvem atacar unidades nucleares no país do inimigo. Uma possibilidade é um ataque preventivo contra a suposta ambição do inimigo de construir uma bomba, frequentemente atribuída a unidades nucleares em países em desenvolvimento ou em transição. Outra é a intenção de transmitir o máximo de medo. Já é uma realidade brutal que um estado cujos inimigos atuais ou potenciais possuem usinas de energia nuclear pode se poupar do árduo esforço de fabricar sua própria bomba atômica. Como uma usina nuclear comercial contém uma ordem de magnitude a mais de radiação do que a explosão de uma bomba atômica, a contaminação radioativa a longo prazo de um ataque “bem-sucedido” contra uma usina nuclear seria muito mais dramática do que a de uma bomba.

## 6. GÊMEOS SIAMESES:

### AS APLICAÇÕES CIVIS E MILITARES DA ENERGIA NUCLEAR

---

Desde que surgiu a idéia de controlar a energia nuclear para gerar eletricidade, sempre existiu a possibilidade de abusar da mesma tecnologia com propósitos militares. Isto não é segredo para ninguém. Afinal, as bombas atômicas lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki em agosto de 1945 criaram um trauma humano que repercutiu no mundo inteiro. O programa “Átomos para a Paz” anunciado pelo Presidente dos EUA Dwight D. Eisenhower em 1953 pretendeu lançar o “uso pacífico da ener-



gia atômica”. Essa iniciativa nasceu da necessidade e de uma preocupação. Com sua oferta generosa do que ainda era conhecimento secreto sobre a fissão nuclear, os EUA queriam impedir que outros países desenvolvessem seus próprios programas de armas nucleares.

Tendo a bomba como suprema demonstração do status de superpotência dos EUA, a oferta que o Presidente apresentou ao mundo não poderia ser mais singela. Qualquer país interessado poderia se beneficiar do uso pacífico da energia nuclear, desde que abrisse mão de qualquer ambição de fabricar suas próprias armas nucleares. A intenção era parar o progresso que daria armas nucleares para a União Soviética, o Reino Unido a França e a China dentro de poucos anos depois da Segunda Guerra Mundial. Outros países, inclusive alguns que na época e ainda hoje são considerados como amantes da paz – como a Suécia e a Suíça – vinham trabalhando mais ou menos clandestinamente no desenvolvimento da arma suprema também. A República Federal da Alemanha – que a partir do final da Segunda Guerra até 1955 não era a rigor um estado soberano – desenvolveu ambições no mesmo sentido quando Franz-Josef Strauss era Ministro da Energia Nuclear.

O Tratado de Não Proliferação Nuclear (TNP), que finalmente entrou em vigor em 1970, surgiu da iniciativa Eisenhower, assim como a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA). A função desta agência com sede em Viena, fundada em 1957, era promover a tecnologia nuclear para a geração de eletricidade no mundo todo e prevenir, ao mesmo tempo, que um número crescente de países desenvolvessem bombas atômicas. Quase meio século depois de sua criação, os sucessos da AIEA são tão ambíguos quando sua agenda original. Seu monitoramento das instalações nucleares civis e o material físsil usado por elas tem sido um grande desestímulo à proliferação. Por isso, a agência e seu diretor Mohamed El-Baradei receberam o Prêmio Nobel da Paz em 2005. Não conseguiu, porém, barrar a proliferação. Até o final da Guerra Fria, mais três estados adquiriram armas nucleares, ou seja, Israel, Índia e

África do Sul, além das cinco potências nucleares “oficiais”. A África do Sul depois destruiu suas armas nucleares, com o fim do sistema de apartheid no início dos anos 90. Depois da Guerra do Golfo de 1991, inspetores descobriram um programa secreto de armas nucleares no Iraque de Saddam Hussein, mesmo sendo parte do TNP, que estava bastante avançado apesar do severo monitoramento pela AIEA. Em 1998, Índia e Paquistão, que como Israel se negaram a assinar o TNP, chocaram o mundo ao testarem suas armas. Em 2003, a Coréia do Norte comunista renegou seu compromisso para com o TNP e se declarou de posse de armas nucleares.

Segundo muitos especialistas, é precisamente este último evento que tem o maior potencial para estimular outros regimes autoritários. Enquanto a presunção por trás da invasão do Iraque em 2003 era que o país estava tentando adquirir uma bomba atômica, mas ainda não havia conseguido, o governo da Coréia do Norte anunciou que já havia cumprido com esta meta. Enquanto o governo de Saddam Hussein foi derrubado de baixo da força de bombas e mísseis cruise convencionais da superpotência, o ditador não menos autoritário Kim Jong-il foi poupado do mesmo destino. Além das ofensivas norte-americanas já em curso no Iraque e no Afeganistão, parece plausível que uma parte da justificativa pela indulgência para com a Coréia do Norte era o medo que ela poderia retaliar com armas nucleares se fosse atacada por meios convencionais. Mesmo a presunção retroativa que este medo teria tido um impacto pode estimular países hostis aos EUA a seguirem o caminho da Coréia do Norte. Um exemplo atual destas ambições surge no Irã, mesmo quando suas autoridades insistem que todas as instalações nucleares do país desempenham propósitos exclusivamente civis.

Todos estes processos derivam de um problema intrínseco associado à tecnologia nuclear: mesmo com a maior boa vontade e o recurso a sistemas de ponta no monitoramento, os trabalhos civis e militares neste campo não podem ser claramente diferenciados. Os ciclos de combustível ou de fissão para aplicações pacíficas e não pacíficas, em particular, correm por caminhos paralelos. As tecnologias e conhecimen-

tos se prestam para uso duplo – com resultados fatais. Cada país que possui a tecnologia nuclear promovida pela AIEA e pela Comunidade Européia de Energia Atômica (Euratom), mais cedo ou mais tarde será capaz de fabricar sua própria bomba. Muitas vezes nos últimos 50 anos, chefes de governo ambiciosos e sem escrúpulos criaram programas militares paralelos aos programas nucleares civis. Mesmo sem um programa concreto clandestino, no entanto, os principais passos na cadeia nuclear civil são extremamente vulneráveis ao abuso militar:

- Usinas de enriquecimento do isótopo físsil de urânio U-235 produzem combustível para reatores a água leve, o tipo de reator mais comum no mundo. Os passos seguintes do mesmo processo rendem o urânio altamente enriquecido (UAE), matéria físsil apto para uso em reatores de pesquisa – ou para bombas atômicas do tipo lançado sobre Hiroshima.
- Reatores nucleares, tanto os comerciais como os de pesquisa, podem servir seus propósitos oficiais ou podem ser utilizados deliberadamente para produzir o plutônio Pu-239, de classe militar, para bombas atômicas do tipo lançado sobre Nagasaki. Esta aplicação é mais fácil ainda nos reatores regenerativos (do tipo “*fast breeder*”).
- As usinas de reprocessamento têm a finalidade de separar o combustível plutônio de outros radioisótopos também produzidos nos reatores por processos de fissão. Mas também podem ser usados para separar o isótopo Pu-239, elemento explosivo apto para bombas atômicas.
- A tecnologia de reprocessamento pode ser usada para tratar o material físsil radioativo em “células quentes” isoladas como parte do ciclo combustível para propósitos civis, ou então para processar e tratar componentes para bombas atômicas.
- Os depósitos para o armazenamento temporário de plutônio, urânio e outros materiais físsis podem servir, ora como depósitos para usinas de energia nuclear, ora como entrepostos de materiais explosivos para a fabricação de bombas atômicas.

Os componentes civis do ciclo do combustível podem ser convertidos em componentes militares – com a aprovação do respectivo governo – em programas paralelos clandestinos militares. Ao desviarem o combustível destinado a propósitos civis, estes programas podem iludir o monitoramento nacional e internacional. Outro temor é o roubo propriamente dito, seja das substâncias, do conhecimento relacionado e/ou da tecnologia militar pertinente.

No final da Guerra Fria, muitos esperavam inicialmente que as potências nucleares agissem no interesse comum de restringir a disseminação de tecnologias e materiais sensíveis, para assim reduzir o risco da proliferação das armas nucleares. Ao mesmo tempo, no entanto, surgiu a ameaça crescente de “vazamentos” no que antes era um rigoroso sistema de segurança para instalações nucleares civis e militares, com o desmoronamento da União Soviética. Alimentado por especuladores gananciosos e grupos mafiosos, surgiu um verdadeiro mercado negro para todos os tipos de apetrechos nucleares. A maior parte do material radioativo em oferta – a preços exorbitantes e principalmente em círculos criminosos – no início dos anos 90, não era apto para a fabricação de bombas. Mas o fato de subitamente haver material radioativo disponível, a partir de depósitos hermeticamente fechados, era preocupante.

Ninguém mais discute que, com cada país a mais que se juntar aos 31 que hoje possuem a tecnologia nuclear civil, será cada vez mais difícil impedir a proliferação militar. Um novo boom nuclear como o dos anos 70, elevando o número de países com a tecnologia da fissão para 50, 60 ou mais, traria problemas insuperáveis de monitoramento para uma AIEA já no limite de suas capacidades, e cronicamente subfinanciada. Isto, sem sequer falar na nova ameaça de terroristas, que evidentemente não veriam problema algum em usar “bombas sujas”. A explosão de uma bomba convencional carregada de material radioativo de origem civil não só causaria muitas vítimas e acirraria os medos e incertezas em países que seriam alvos potenciais, como ela deixaria o local da explosão inabitável.

## 7. O CICLO ABERTO: VAZANDO NA ENTRADA E NA SAÍDA

---

O “ciclo de combustível nuclear” é uma frase espantosa que se estabeleceu no jargão ao longo das últimas décadas, apesar de ser rebatida constantemente pelos fatos. O mito do ciclo de combustível nuclear se assenta num sonho precoce dos engenheiros nucleares, que o plutônio físsil produzido em reatores de urânio comerciais pudesse ser separado em usinas de reprocessamento e então utilizado em reatores regenerativos (“*fast breeder*”), criando uma espécie de *perpetuum móbile* a partir do urânio não-físsil (U-238) para o plutônio (Pu-239) para mais usinas regeneradoras. A idéia era criar um gigantesco ciclo industrial com mais de mil reatores regenerativos e dezenas de usinas de reprocessamento em uma grande escala civil que hoje só se vê em La Hague na França e em Sellafield no Reino Unido. Em meados dos anos 60, estrategistas nucleares previam que só a Alemanha teria uma frota de reatores regeneradores com capacidade conjunta de 80.000 megawatts até o ano 2000. Porém a rota do plutônio na tecnologia nuclear, que o especialista alemão Klaus Traube (ex-diretor do projeto do reator Kalkar no Baixo Reno) mais tarde chamaria a “solução utópica dos anos 50” (*Erlösungstropie der 50er Jahre*),<sup>9</sup> virou o que pode ser o maior fracasso da história da economia. A tecnologia regenerativa é astronomicamente cara, tecnicamente subdesenvolvida e mais polêmica ainda com relação à segurança do que as usinas nucleares convencionais, além de particularmente vulnerável à exploração com fins militares. Ainda não se estabeleceu com firmeza em lugar algum do mundo. Apenas a Rússia e a França operam um reator regenerador cada um, remontando aos primórdios do desenvolvimento do campo. O Japão (cujo protótipo de reator regenerador em Monju está paralisado desde um grande incêndio com sódio em 1995) e a Índia estão oficialmente empenhados no desenvolvimento desta área.

<sup>9</sup> Klaus Traube: *Plutonium-Wirtschaft?* (Hamburgo, 1984), p. 12.

Na ausência de perspectivas para futuros avanços na tecnologia da regeneração, a motivação histórica principal pela separação do plutônio nas usinas de reprocessamento perdeu sua relevância. Além da França e do Reino Unido, no entanto, a Rússia, o Japão e a Índia operam usinas menores de reprocessamento para fins (declarados retroativamente) de re-utilizar o plutônio assim gerado em reatores convencionais a água leve, na forma de varetas de combustível feitas do chamado “óxido misto” (MOX). Quando não está paralisadas por problemas técnicos, as usinas de reprocessamento geram custos horrorosos, junto com o plutônio e o urânio. Também produzem rejeitos nucleares altamente radioativos que exigem uma disposição permanente, além de níveis de radiação dezenas de milhares de vezes maiores que os dos reatores a água leve. O reprocessamento também exige o transporte freqüente e precário de materiais altamente radioativos, alguns dos quais são aptos para uso militar ou terrorista, aumentando mais ainda o número de possíveis alvos para grupos terroristas.

Já que uma proporção relativamente pequena dos rejeitos nucleares altamente radioativos gerados em usinas comerciais é reprocessado, e como em geral as varetas gastas de combustível MOX não são recicladas, a única parte do ciclo de combustível nuclear que permanece é o nome. No mundo real, o ciclo está aberto. Além de eletricidade, as usinas nucleares geram rejeitos que cobrem um espectro desde os de alta até os de baixa radioatividade, e que também são altamente tóxicos. Eles exigem locais de depósito seguros para longuíssimos períodos de tempo. O tempo exato depende dos períodos chamados de meia-vida dos radionuclídeos, que variam muito. O isótopo de plutônio Pu-239 perde a metade de sua radioatividade em 24.110 anos, enquanto o do cobalto Co-60 faz isso em 5,3 dias.

Meio século depois das usinas nucleares começarem a gerar eletricidade, não há um só local autorizado e em funcionamento para a disposição final de rejeitos altamente radioativos, situação esta que lembra a conhecida imagem do avião atômico que decola sem que alguém pense em onde vai pousar. Em alguns países, como na França, nos EUA, no Japão e na África do Sul, os rejeitos de relativamente curto prazo

e de radioatividade de fraca a média intensidade são armazenados em contêineres próximos à superfície da terra. A Alemanha preparou o velho poço da mina de ferro “Konrad” em Salzgitter no Estado da Baixa Saxônia, para o armazenamento subterrâneo de rejeitos não geradores de calor das usinas nucleares, e também de reatores nucleares e aplicações médicas nucleares. No entanto, o armazenamento de rejeitos nucleares nessa velha mina de ferro ainda se encontra em litígio.

O descaso inicial com os rejeitos nucleares é evidente em uma declaração de 1969 do já citado físico e filósofo Carl Friedrich von Weizsäcker: “Não vai ser problema algum,” disse. “Me disseram que todos os rejeitos atômicos que vão ser acumulados na Alemanha até o ano 2000 caberão em um contêiner cúbico de 20 metros de comprimento. Se ele for bem fechado e lacrado e colocado em uma mina, podemos esperar que o problema esteja resolvido.”<sup>10</sup> Enquanto isto, propostas pioneiras exóticas como enviar os rejeitos para o espaço, para o fundo do mar ou para os gelos da Antártica sumiram dos olhos da opinião pública. Os especialistas hoje não conseguem decidir se o granito, o sal a argila ou algum outro material será o melhor substrato para o armazenamento a longo prazo de rejeitos altamente radioativos e geradores de calor. Todos citam as vantagens e desvantagens de cada opção.

A questão de se os rejeitos radioativos podem ficar isolados com segurança da biosfera durante centenas, milhares ou até milhões de anos em última instância, é de natureza filosófica. As pirâmides, afinal de contas, foram construídas há meros 5.000 anos. Mas uma coisa é clara. Como os rejeitos nucleares existem, e como a questão do armazenamento a longo prazo não pode ser resolvida de modo conclusivo, é preciso buscar e encontrar a melhor solução técnica com base no atual estado do conhecimento. As tentativas de fugir da questão, com certeza, não ajudam. Um exemplo disto seria a chamada transmutação, cujos defensores construíram reatores especiais para dividir os rejeitos mais perigosos e persistentes em isótopos que ficarão radioativos durante apenas algumas centenas de anos. Há décadas, apenas um pequeno número de cientistas levou a sério esta perspectiva. Mas até seus promo-

<sup>10</sup> Citado em B. Fischer, L. Hahn et al.: *Der Atommüll-Report* (Hamburgo, 1989), p. 77.

tores presumivelmente não acreditam que ela possa realmente reduzir de maneira significativa os subprodutos mais perigosos da tecnologia nuclear.

Para colocar em prática a tecnologia da transmutação, teriam que ser construídas em primeiro lugar usinas de reprocessamento inovadoras, nas quais o coquetel de isótopos altamente radioativos das usinas nucleares seria decomposto em elementos individuais, utilizando sistemas muito mais sofisticados do que nas usinas atuais. Em termos relativos, as usinas de plutônio em La Hague e em Sellafield seriam simples laboratórios químicos. Além disto, teria que ser desenvolvido uma frota de reatores nos quais os isótopos separados pudessem ser seletivamente bombardeados com os chamados nêutrons rápidos, divididos e transmutados em radionuclídeos menos perigosos. Mesmo que fosse tecnicamente viável construir estas usinas, ninguém poderia ou se disporia a financiar este tipo de infra-estrutura nuclear. Este método de disposição inegavelmente acarretaria riscos muito maiores do que a política de disposição atualmente adotada em muitos países, ou seja, o uso de depósitos subterrâneos cuidadosamente selecionados. Apesar desta considerações, a noção de transmutação persiste, principalmente na França e no Japão, muito mais devido a visões dos reatores regeneradores (“breeders”) ainda alimentadas por setores das respectivas comunidades nucleares, do que a uma sólida perspectiva de um dia chegar a se concretizar.

Paulatina e tardiamente, os principais países geradores de energia nuclear estão chegando à conclusão de que a seleção de um local para a disposição final é um problema não apenas científico ou técnico. Nenhum dos programas nacionais de seleção de locais, a maioria deles lançados nos anos 70, chegou até agora a autorizar um depósito final. Isto acontece porque os procedimentos de seleção vêm ignorando ou rejeitando a oposição pública, a participação democrática e a transparência. Ao tentar aprender dos próprios erros, a Alemanha desenvolveu e formulou um processo de seleção em etapas, com a participação do público em todas elas. Ainda não ficou claro se este processo, acordado por cientistas dos campos pró e contra a energia nuclear



em 2002, depois de anos de intensos debates, terá alguma possibilidade de dar certo. O governo da coalizão CDU/CSU e SPD, eleito no outono de 2005, começou por adiar a decisão quanto a considerar seriamente outros locais para a disposição, que não a antiga mina de sal em Gorleben, apontada desde os anos 80.

Planos para a disposição final na Finlândia e nos EUA já se encontram relativamente avançados. A gigantesca instalação na Montanha Yucca em Nevada, porém, é alvo de polêmica há décadas. O local quase pronto em Olkiluoto na Finlândia, foi beneficiado por uma aceitação relativamente grande pelas populações locais e regionais. A maioria dos habitantes está reconfortada pelo fato de que nenhuma falha significativa ter acontecido durante muitos anos naquela usina de energia nuclear, e também pelo depósito já em funcionamento para rejeitos de radioatividade média e baixa.

O pretense ciclo de combustível, no entanto, não está aberto apenas por trás. Desde o começo, há graves problemas na entrada também. As operações de mineração de urânio para obter o material físsil para a bomba, e depois para as usinas de energia civis, já pagaram um preço altíssimo, principalmente nas primeiras etapas. Grandes volumes de núclídeos radioativos, sempre resguardados pela crosta terrestre, entram na biosfera. Manter ou expandir a geração de energia nuclear vai aumentar consideravelmente os custos para a saúde e para o ambiente associados à mineração do urânio.

A busca deste metal pesado, que não é muito raro como tal, mas que se concentra em poucos depósitos, começou pouco depois da Segunda Guerra Mundial. Os terríveis impactos das bombas lançadas no Japão não inibiram, mas estimularam as ambições dos aliados pelo desenvolvimento de recursos estratégicos. Grandes esforços foram feitos para expandir e garantir o acesso ao urânio. Na época, questões ambientais e da saúde dos mineiros tiveram papéis muito secundários. Os EUA trabalharam minas no próprio país e no Canadá, enquanto a

União Soviética desenvolveu minas de urânio na Alemanha Oriental, na Tchecoslováquia, na Hungria e na Bulgária. Milhares de mineiros tiveram mortes dolorosas pelo câncer nos pulmões depois de anos de trabalhos pesados em túneis mal ventilados e empoeirados, contaminados com radônio radioativo. Alguns dos mais atingidos foram os mineiros da unidade “Wismut” na Alemanha Oriental, que chegou a empregar mais de 100.000 trabalhadores. Como as concentrações de urânio na terra geralmente variam em décimos de ponto decimal, iam se acumulando imensos volumes de terra escavada. A exposição ao minério de urânio exposto, que continha concentrações relativamente altas de gás de radônio e outros núclídeos radioativos, foi severa e de longo prazo não apenas para os mineiros, mas para a área contígua também, e para os residentes. O problema foi agravado pelo uso de reagentes no processo de extração, que contaminavam a terra, a água superficial e o lençol freático na região.

A situação melhorou com o auge da geração de eletricidade nos anos 70. A partir dessa época, os governos não eram mais os únicos compradores de matéria físsil. O novo mercado privado para o urânio liberou as, até então, severas condições de trabalho determinadas pela situação militar e estratégica que se impunha nas minas de urânio. Com o final da Guerra Fria, as condições mais uma vez melhoraram fundamentalmente. A demanda militar por urânio despencou. Os depósitos não mais usados pelos governos dos EUA ou da ex-URSS, agora podiam atender o mercado civil de material físsil. Ao mesmo tempo, com o avanço do desarmamento nuclear, grandes volumes de urânio muito enriquecido para uso militar com alto teor físsil foram disponibilizados dos já supérfluos estoques nucleares americanos e soviéticos. Pode ter sido o mais abrangente programa na história de conversão de instrumentos de guerra para propósitos comerciais civis. Um grande volume de material bélico altamente explosivo foi “diluído” com urânio natural ou “empobrecido” (U-238 do qual foi extraído o isótopo físsil U-235) e então usado como combustível em usinas convencionais de energia nuclear. Esta situação completamente inédita no mercado fez

despencar o preço internacional do urânio menos enriquecido para uso em reatores, levando ao abandono de minas com teores relativamente menores de urânio. No ano 2005, quase a metade do urânio consumido nas usinas de energia nuclear do mundo não provinha mais do minério “fresco”, enriquecido de urânio, mas dos estoques militares das superpotências.

Chegará o dia, porém, em que a oferta de urânio da Guerra Fria vai acabar. O preço do urânio já começou a subir, e vai seguir nessa direção aceleradamente. Se for para as usinas nucleares continuarem funcionando no nível atual, ou se for para expandir a quantidade de reatores, velhas minas terão que ser reativadas, junto com novos depósitos com rendimentos cada vez menores. Isto, por sua vez, significará volumes cada vez menores de urânio em comparação a volumes cada vez maiores de rejeitos minerais com concentrações acima da média de isótopos radioativos, acarretando todos os riscos sanitários e ambientais associados. Da mesma forma como o ocorrido durante o período de preços baixos do petróleo, os esforços para a ampliação da mineração de urânio sofreram uma redução, alimentada pela liberação dos estoques militares, fazendo com que o conhecimento de novos depósitos seja hoje em número relativamente pequeno. Mais ainda, a indústria precisa de tempo para expandir sua capacidade para a extração de urânio, que vai faltar se for para expandir rapidamente a geração de energia nuclear. Aliás, demora em média dez anos entre a identificação de um depósito de urânio até o começo da mineração.

O gargalo que se aproxima na oferta de urânio será agravado pelo imenso desequilíbrio entre os países produtores e consumidores. O Canadá e a África do Sul são os únicos países geradores de energia nuclear que não dependem da importação de urânio. Os principais países geradores de energia nuclear, ou não possuem produção própria significativa de urânio (França, Japão, Alemanha, Coreia do Sul, Reino Unido, Suécia, Espanha), ou tem capacidades muito menores do que o necessário para sustentar seus próprios reatores a longo prazo (EUA, Rússia). Quanto à oferta de combustível, a energia nuclear não é uma fonte doméstica de energia em quase ne-

nhum lugar do mundo. A Rússia em particular, já arrisca enfrentar uma grave crise de oferta de urânio dentro de 15 anos. A escassez será sentida, em seguida, por operadoras de usinas na União Européia, que hoje compram um terço de seu combustível da Rússia. A China e a Índia podem enfrentar a escassez de combustível se ambas cumprirem com os próprios anúncios de expansão do número de reatores.

Com base nessas considerações, fica claro que nem a oferta de combustível, e nem a disposição dos rejeitos das usinas nucleares do mundo estarão seguras a longo prazo. Os novos reatores, já projetados e em construção em alguns países, vão agravar estes problemas. Com as reservas de urânio limitadas ou acessíveis apenas a custos desproporcionais, as estratégias deliberadas de expansão logo vão depender de uma mudança permanente para o plutônio, com usinas de reprocessamento por toda parte e a adoção da tecnologia regeneradora como padrão para os novos reatores. Essa estratégia elevaria os problemas de hoje a novos patamares. Multiplicaria o volume de rejeitos altamente radioativos a exigir uma disposição permanente. A busca por depósitos para o combustível finalmente exaurido teria que ser ampliada para incluir mais locais, com volumes maiores.

## 8. A PROTEÇÃO NUCLEAR DO CLIMA: PROPOSTAS INGÊNUAS

---

O recente interesse na energia nuclear, em curso em alguns países industrializados, se deve em grande medida ao suposto potencial para reduzir os níveis globais de emissões de gases de efeito estufa. Tal potencial permite que defensores da tecnologia esperem e dêem impulso a uma “renascença” do setor, após décadas de estagna-ção. As usinas nucleares emitem volumes mínimos de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Os promotores da energia nuclear consideram, por isso, que elas são uma peça chave em qualquer campanha para combater o aquecimento global. Ou, inver-

samente, o impacto do efeito estufa alimenta a esperança de que o longo marasmo da energia nuclear seja neutralizado e revertido. Wulf Bernotat, por exemplo, que é Diretor-pre-sidente da empresa E.ON Ruhrgas sediada em Düsseldorf, afirma que “uma agenda energética que enxergue além do curto prazo precisa tratar o conflito central entre a eliminação gradual da energia nuclear e a grande redução no volume de emissões de CO<sub>2</sub>. Não é possível ter as duas coisas ao mesmo tempo. É uma pura ilusão.”<sup>11</sup> Como muitos outros líderes da indústria energética convencional, o chefe da maior empresa privada de energia do mundo abusa da lógica principal pela continuidade da eletricidade gerada em usinas nucleares. Esta lógica argumenta que a proteção do clima está fadada ao fracasso sem o auxílio da energia nuclear. Quem tiver boas razões para se opor à renascença da energia nuclear agora precisa responder à questão da existência de tal conflito central na forma veiculada pelos promotores da energia nuclear.

A maioria esmagadora de especialistas hoje está convencida que o aquecimento global é um perigo real. Para mantê-lo em níveis toleráveis para a humanidade e o ecossistema global – ou seja com um aumento da temperatura menor que dois graus Celsius acima da época pré-industrial – não há como não termos que diminuir dramaticamente as emissões de CO<sub>2</sub> nas próximas décadas. Especialistas em clima recomendam que os países industrializados reduzam suas emissões em 80% até meados do século XXI. Países em transição precisam pelo menos desacelerar o maciço crescimento nas emissões. Mesmo no esforço justificado para alcançar a prosperidade, os países populosos do Sul não podem simplesmente repetir a rota de desenvolvimento tão intensivo em energia trilhada pelos países industrializados do Norte. A pergunta, portanto, é: A energia nuclear tem o potencial de limitar as emissões de gases de efeito estufa a tal ponto, e sem alternativas, que os grandes riscos incontestes desta tecnologia devam ser aceitos? A situação se complica porque, enquanto o aquecimento global e o potencial de graves acidentes em usinas nucleares representam diferentes tipos de risco, cada um traria conseqüências catastróficas, singulares

<sup>11</sup> *Berliner Zeitung*, 3 de dezembro de 2005.

e de longo prazo. Enquanto é mais provável que o aquecimento global acelere e desencadeie mudanças diferentes porém dramáticas para piorar o estado do mundo, a não ser que seja contido de maneira decidida e abrangente, o potencial de um grande desastre nuclear se baseia em probabilidades mais difíceis de conceituar. Um acidente também terá conseqüências desastrosas, a longo prazo, que o país atingido dificilmente superará sozinho. A economia mundial provavelmente sofreria imensas repercussões. Este foi o caso depois do desastre de Chernobil, que aconteceu na periferia de grandes zonas econômicas.

Segundo estatísticas da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), sediada em Viena, havia 443 reatores nucleares em funcionamento no mundo, no final de 2005, com uma capacidade total de geração de quase 370.000 megawatts. A expansão, no entanto, está estagnada há décadas em várias regiões, principalmente em países industrializados do Ocidente. A OCDE não prevê mudanças nesta tendência até o ano 2030, com um aumento médio anual na capacidade global de 600 megawatts. Como há reatores velhos que estão sendo desativados, a expansão marginal vai significar agregar de 4.000 a 5.000 megawatts por ano, o que representa três ou quatro usinas grandes. Segundo as previsões da Agência Internacional de Energia (AIE), também afiliada à OCDE, a demanda mundial por eletricidade vai aumentar muito no mesmo período, e portanto a participação da energia nuclear deve diminuir de 17% em 2002 para apenas 9% em 2030. A revista *Nuclear Engineering International* publicou um cálculo divergente em junho de 2005. Observando que 79 reatores estavam na rede há mais de 30 anos naquele momento, previu que será “quase impossível manter constante o número de usinas nucleares durante os próximos 20 anos”.<sup>12</sup> Devido a fechamentos pendentes nos próximos dez anos, teriam que ser planejados, construídos e colocados em funcionamento 80 novos reatores – uma a cada seis semanas – apenas para manter a situação atual. Na década seguinte, 200 reatores teriam que entrar na rede – um a cada 18 dias. Ilusão pura, portanto, é pensar que a energia nuclear possa ser usada no curto ou médio prazo para conter o aquecimento global.

<sup>12</sup> *Nuclear Engineering International*, junho de 2005.

Mesmo assim, estudos de longo prazo elaboraram cenários para saber se a energia nuclear pode reduzir emissões, como parte dos ambiciosos esforços globais para proteger o clima. Se o volume de eletricidade gerada por energia nuclear aumentar dez vezes até 2075, por exemplo, 35 novos reatores teriam que ser agregados à rede por ano, até meados do século. Uma estratégia de expansão relativamente modesta de até 1,06 milhões de megawatts (1.060 gigawatts) de capacidade elétrica até o ano 2050 significaria triplicar a produção atual das usinas nucleares. Isto reduziria em cinco bilhões de toneladas as emissões de CO2 em 2050, comparado com a expansão global normal da geração de eletricidade em usinas movidas a carvão ou a gás. O elemento comum que estas previsões compartilham é a ausência de qualquer relação com a realidade atual ou com a experiência passada da energia nuclear.

Com base nas previsões da AIE e em alertas de pesquisadores do clima no Painel Intergovernamental sobre Mudança Climática (IPCC), o mundo terá que reduzir suas emissões em 25 a 40 bilhões de toneladas até o ano 2050. Se todos os meios disponíveis no mundo fossem dedicados à expansão da energia nuclear, desde já, para alcançar o cenário mencionado de triplicar a geração de energia nuclear até 2050, este esforço responderia por apenas 12,5% a 20% da geração de eletricidade e contribuiria proporcionalmente ao alívio do problema climático. Não é um auxílio marginal, mas não basta para eliminar a necessidade de outras medidas para reduzir as emissões. O preço deste sucesso também seria alto, e não só em termos econômicos. Significaria:

- Agregar um grande número de novos locais para desastres em todas as regiões do mundo;
- Criar novos alvos para ataques militares e terroristas em países em desenvolvimento e em transição, inclusive em áreas de crise;
- Intensificar enormemente os problemas de disposição final, junto com o perigo da proliferação nuclear não controlada em cada região do mundo;

- Devido à escassez de urânio, substituir logo e em todos os lugares os reatores padrão atuais a água leve, com sistemas à base de plutônio com reatores de reprocessamento e regeneradores, vulneráveis a acidentes catastróficos e a ataques terroristas e militares;
- Desviar enormes recursos financeiros de programas contra a pobreza em áreas críticas do mundo, para a expansão da infra-estrutura nuclear.

Considerando os óbvios e graves efeitos colaterais, este tipo de estratégia só faria sentido se a trajetória do clima não pudesse ser contida por outros meios, menos problemáticos. Com base em tudo que sabemos hoje, este não é o caso. Estimativas realistas apontam que mesmo as metas ambiciosas de redução de emissões de gases de efeito estufa podem ser atingidas sem recurso à energia nuclear. Segundo essas estimativas, é possível reduzir as emissões de dióxido de carbono em 40 a 50 bilhões de toneladas (o necessário é 25 a 40 bilhões) até meados do século XXI se forem atendidas as seguintes condições:

- Melhorar a eficiência energética nos prédios;
- Elevar a eficiência energética e material na indústria ao padrão tecnológico já disponível;
- Aumentar a eficiência energética a um grau correspondente no setor de transportes;
- Aproveitar melhor as margens de eficiência para a geração e o consumo no setor energético;
- Utilizar mais gás natural no lugar de carvão ou petróleo (troca de combustível) na geração da eletricidade;
- Expandir sistematicamente o uso de energias renováveis das fontes solar, eólica, hidráulica, biomassa e geotérmica;



- E, finalmente, desenvolver e implementar a tecnologia do carvão limpo em grande escala (separação e armazenamento do dióxido de carbono resultante da queima de carvão em usinas energéticas).

Um estudo abrangente contratado pelo Parlamento Alemão em 2002 demonstrou como uma série de estratégias e instrumentos variados podem permitir que um país como a Alemanha reduza suas emissões de CO<sub>2</sub> em 80% até 2050. O estudo mostrou que melhorar a eficiência energética em todos os setores é tão essencial quanto aumentar o uso de combustíveis renováveis. Em contraste, não encontrou embasamento algum para a lógica de estratégias de proteção do clima terem que manter ou expandir o uso da energia nuclear. Uma participação grande ou crescente de eletricidade gerada por energia nuclear pode até prejudicar as estratégias de proteção do clima. É difícil equilibrar os elementos vitais da energia renovável e da eficiência energética com unidades de geração em grande escala, operando na base e centralizadas, tais como as usinas nucleares. Quando chegam a um certo patamar de produção, e por serem intermitentes, as fontes renováveis movidas a sol e vento exigem usinas com um controle de capacidade flexível, como as modernas usinas movidas a gás, para compensar as flutuações e para refletir diferentes condições geográficas, além de uma estrutura bem menos centralizada de geração de eletricidade.

Além disso, a expansão em grande escala da energia nuclear – pois apenas a expansão, muito além da já árdua tarefa de manter os níveis atuais, pode fazer da energia nuclear um fator real no controle do clima – acarretaria enormes incertezas econômicas. Para alcançar tal expansão, a indústria teria que substituir com êxito os reatores atuais a água leve com a tecnologia regeneradora e o reprocessamento, tarefa na qual ela já fracassou uma vez. Também, nenhuma outra tecnologia é tão parecida à espada de Dâmocles. Bastaria um acidente grave ou atentado terrorista para desinflar de vez a aceitação desta tecnologia em níveis nacionais ou até internacional. Um grande número de reatores provavelmente teria que ser fechado por precaução. Por último, um debate interminável sobre a energia nuclear em grandes países indus-

trializados apenas adia a necessidade absoluta de implementar estratégias consistentes de eficiência energética. Afinal, é possível e aconselhável desenvolver políticas nacionais e internacionais que minimizariam os dois grandes riscos de aquecimento global e de acidentes nucleares catastróficos. Os perigos específicos associados à energia nuclear fazem das estratégias climáticas que a incluem menos robustas e inovadoras, do que as estratégias sem uma opção nuclear. O conflito central que citamos, entre a energia nuclear e a proteção do clima, revela-se assim como invenção dos promotores da opção nuclear, que defendem outro conjunto de interesses. O pretensão conflito é um engodo. Não é necessário fazer a opção sem sentido entre a cruz e a caldeirinha.

## 9. ENERGIA NUCLEAR BARATA: SE O ESTADO PAGAR A CONTA

---

Usinas nucleares assumem papéis variados, mas importantes, nas estruturas de oferta de energia dos países que as têm, e portanto, também nos sistemas econômicos desses países. Na ausência de maiores interesses estratégicos ou militares, portanto, é a própria economia energética que determina seu futuro. Isto acontece normalmente na base de sóbrias considerações econômicas. Saber se uma usina nuclear equivale a uma máquina de dinheiro, ou a um poço sem fundo de gastos depende das circunstâncias de cada caso. Se o reator está gerando energia sem parar há vinte anos, e se não dá motivos para pensar que os próximos vinte anos serão diferentes, então a primeira metáfora é a que vale – desde que o potencial latente de desastre nessa usina, como em todas as outras, não se concretize. Por outro lado, se a usina ainda não foi construída e se for protótipo de uma série, é melhor trocar de caminho, para outro projeto – a não ser que o risco financeiro possa ser transferido para um terceiro.

Para os investidores que procuram decidir se substituem ou constroem novas usinas em condições de mercado, há farta evidência empírica que demonstra que a opção nuclear não é a primeira. Nos EUA, todos os contratos concedidos a construtores de reatores desde 1973 acabaram cancelados. Na Europa Ocidental, com a exceção da França, os empreiteiros nucleares esperaram um quarto de século até fecharem a construção de uma nova usina em 2004. Agora há uma em Olkiluoto, na Finlândia.

Segundo a Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), 28 usinas nucleares com capacidade total de quase 27.000 megawatts estavam em construção no mundo em 2005. Quase a metade dos projetos já se arrasta há 18 ou até 30 anos. Para muitos deles, ninguém acredita que algum dia cheguem a gerar energia. O termo para tais projetos é “abandonado”. As usinas restantes que devem ser concluídas num futuro próximo ficam quase todas na Ásia Oriental, e sua construção pouco ou nada tem a ver com uma economia de mercado. Ou seja, a situação das encomendas para usinas nucleares é calamitosa, e mais ainda se consideramos a concorrência. A capacidade mundial de geração de eletricidade aumenta em 150.000 megawatts por ano desde a virada do milênio, e as usinas nucleares respondem por apenas 2% deste crescimento. Só nos EUA, uma capacidade adicional de 144.000 megawatts entrou na rede de 1999 a 2002, a partir de usinas convencionais usando combustíveis fósseis. De 2002 até 2005 na China, foi construída um novo parque de usinas a carvão com capacidade de 160.000 megawatts. Até a energia eólica, ainda em sua infância, conseguiu contribuir uma nova capacidade total superior a 10.000 megawatts.

Por marginal que seja o papel da energia nuclear diante da gigantesca expansão da capacidade de geração elétrica no mundo, os operadores de usinas nucleares trabalham abnegadamente para estender as licenças dos reatores atuais, para prazos muito além dos projetos originais. A vida média de todos os reatores em funcionamento em 2005 era 22 anos. Este fato, porém, não impediu que o ex-Diretor-

presidente da Siemens, Heinrich von Pierer, pedisse durante a campanha eleitoral alemã que a candidata a chanceler Ângela Merkel considerasse a extensão das vidas úteis para 60 anos, apesar do acordo formal na Alemanha sobre a eliminação gradual das usinas nucleares. Afinal de contas, a maioria dos promotores da energia nuclear na Europa e na América do Norte hoje defende vidas úteis de 60 anos. A extensão das licenças da maioria das 103 usinas nucleares nos EUA já foi aprovada, solicitada ou está com a solicitação em preparação. Von Pierer invocou o “sentido dos negócios” como base para sua postura. E de fato faz sentido. Desde que não haja uma falha grave ou consertos caros, e desde que o desgaste ou a corrosão não exijam a troca de componentes centrais como um gerador de vapor, a eletricidade pode ser gerada a um custo quase sem paralelo, por velhos reatores da categoria de 1.000 megawatts já depreciados há anos. Estender as licenças também adia o chamado “problemão” do fim da energia nuclear, ou seja, o fechamento e desmantelamento dos grandes reatores – um verdadeiro desafio não apenas para a segurança como para as finanças. Além disto, como o custo do combustível para as usinas nucleares representa uma parte relativamente pequena dos custos totais, os operadores esperam um grande rendimento extra. Se os reatores alemães puderem funcionar por 45 em vez dos 32 anos estipulados no acordo de eliminação gradual – 45 anos sendo a vida útil média para uma grande usina movida a combustível fóssil – a indústria espera um belo lucro adicional de uns 30 bilhões de euros. A magnitude desta cifra explica porque os operadores promovem a discussão sobre a extensão das licenças em tantos países. Esta barganha, porém, nada tem a ver com a tal renascença da energia nuclear. Pelo contrário. O fato de os operadores pleitearem uma “prorrogação” demonstra como hesitam em investir em novas usinas, seguindo esse “sentido de negócios”. Em vez de investir em novas tecnologias, nucleares ou não, estas empresas estão sugando a substância de seus reatores sem contemplação por sua crescente suscetibilidade a falhas.

As décadas de estagnação na indústria de energia nuclear ainda não terminaram. Entre os EUA e a Europa Ocidental, há uma só obra em curso, na costa do Mar Báltico na Finlândia. A obra é tratada com maiores detalhes, mais adiante. Ao mesmo tempo, um número crescente de estudos abrangentes em anos recentes sugere que novas usinas de energia nuclear são mais competitivas do que suas congêneres movidas a combustível fóssil. O maior inconveniente desses estudos é que eles não convencem ninguém, a não ser seus próprios autores e editores, mas nunca os potenciais financiadores de novos projetos de usina. É principalmente por isso que há mais incerteza do que nunca sobre quanto custaria uma nova geração de usinas nucleares. Quase não há dados confiáveis sobre as vultosas rubricas de custos, como a construção, a disposição de rejeitos e desativação, e nem sequer sobre os custos operacionais ou de manutenção. Esta é uma das razões pelas quais os analistas tomam quase todas as estimativas publicadas com muito ceticismo. Afinal, estas cifras normalmente são geradas por vendedores que querem fazer novas usinas, e que por isso tendem a estimar tudo por baixo. Se não, vêm de governos, associações e lobistas que procuram influenciar uma opinião pública relutante, usando o incentivo de preços supostamente baixos para a eletricidade.

Além de cifras interesseiras, porém, há problemas objetivos. Como todas as novas séries de reatores passam por uma fase inicial dispendiosa, com longas paralisações, os potenciais financiadores recebem com desconfiança as previsões sempre entusiasmadas e otimistas dos vendedores. É impossível prever o “desempenho” de uma nova usina, menos ainda o comportamento de novos tipos de reatores baseados em tecnologias inovadoras e, por isso mesmo, não comprovadas. Em quase todos os campos técnicos – e não apenas no setor de usinas de energia – os empreiteiros podem seguir uma “curva de aprendizado”, a um ritmo relativamente consistente e previsível que leva a preços cada vez menores. Mas os construtores de reatores ainda começam da estaca zero, quase meio século depois do lançamento da fissão nuclear em escala comercial. Nos anos 70 e 80, os vendedores de

reatores ofereciam unidades cada vez maiores, sob a presunção parcialmente justificada que uma usina maior geraria a eletricidade a um custo menor do que uma menor. A adoção destas “economias de escala”, porém, não resolveu o problema. Ainda não se materializou, no entanto, uma clara tendência a favor de reatores menos caros. Enquanto isso, a situação se agrava com a estagnação prolongada do mercado que restringe as usinas mais desenvolvidas a meros planos ou projeto, ou mais recentemente, à animações computadorizadas. Dessa maneira, aumenta a imponderabilidade para potenciais financiadores. A energia nuclear virou tecnologia de alto risco, não apenas em termos de segurança, mas também com respeito ao financiamento.

Assim, construir um novo reator significa atrair capital de risco, com o alto custo que o acompanha. Além da construção, os custos do capital representam a maior rúbrica de financiamento para estes projetos. É mais um problema que se agravou nos países industrializados desde a desregulamentação dos mercados de energia. Na época dos grandes monopólios estatais, os investidores podiam presumir que seu capital acabaria sendo refinanciado por consumidores, mesmo que o desempenho do reator fosse fraco. Nos mercados desregulamentados de hoje, porém, isto não acontece mais. Com seus investimentos iniciais exorbitantes e prazos de décadas para a recuperação do investimento, a energia nuclear não é compatível com mercados desregulamentados. Os custos do capital disparam, isto quando o financiador não prefere outra tecnologia que simplesmente não apresenta estes problemas. De fato, em muitos países que tiveram um auge de usinas a gás altamente eficientes nos últimos 20 anos, os custos de construção por kilowatt/hora instalada são substancialmente menores, os prazos da assinatura do contrato até o início das operações são curtos e muitos componentes da usina são manufaturados em fábricas sob “condições controladas”. Também, devido ao custo relativamente baixo do gás natural, que responde por uma parte maior das despesas operacionais do que o combustível urânio, as usinas de energia nuclear quase não têm mais vez.

Há ainda outros fatores imponderáveis que fazem das usinas nucleares um jogo de azar para qualquer investidor. O prazo da decisão do investimento até o início das operações é muito maior do que em todos os outros tipos de usina. Pode haver enormes problemas de planejamento, além de demoras no licenciamento porque os governos redobram sua cautela sob o escrutínio do público, porque novas descobertas relacionadas à segurança causam mudanças nos critérios de licenciamento ou porque movimentos anti-nucleares bloqueiam o trabalho nos tribunais. A decisão de construir o último reator inglês Sizewell B foi tomada em 1979, por exemplo, e ela entrou em operação comercial 16 anos mais tarde. Quando entra em operação um protótipo, ninguém tem certeza se atingirá o nível previsto de desempenho, que afinal é o que determinará o nível de renda. Um fator mais importante ainda é a confiabilidade do reator ao longo de toda sua vida útil. A diferença dos custos do capital, este “fator de carga” pode ser calculado. Normalmente se sabe há quanto tempo uma usina nuclear está em funcionamento e durante quanto tempo ficou paralisada para consertos, para troca de varetas de combustível ou por falhas. O fator de carga é a produção (kilowatt-horas) expressa em um percentual relativo à produção total possível se a operação fosse ininterrupta. As previsões de fator de carga dos vendedores tendem uniformemente a ser altas, principalmente para os primeiros reatores de uma série. Se um reator atingir um fator de carga de apenas 60%, em vez de 90%, os custos aumentam em um terço, além dos custos adicionais de manutenção e consertos. Apenas 2%, aproximadamente, de todos os reatores atingem fatores de carga de 90% ou mais, e apenas ao redor de 100 dos reatores no mundo superam os 80%.

Nos velhos tempos da euforia, os operadores prometiam entusiasmados que as usinas nucleares funcionariam quase automaticamente e, portanto, a custos menores do que outras usinas com níveis comparáveis de produção. Aquela previsão também, no entanto, demonstrou um excesso de otimismo. É verdade que o combustível responde por uma parte relativamente pequena do total dos custos opera-

cionais. Esta parte aumenta, porém, ao usar o chamado “óxido misto” com um elemento de plutônio reprocessado, em vez do óxido “fresco” de urânio. Os custos operacionais e de manutenção são maiores, porque o custo com pessoal é bem maior do que, por exemplo, nas usinas a gás. Algumas usinas nucleares foram desativadas nos EUA no final dos anos 80 e início dos anos 90 porque acabou sendo mais econômico construir e operar novas usinas a gás.

Ao contrário de outros sistemas, as usinas nucleares acarretam custos enormes mesmo depois de décadas de operação. Os custos incluem a disposição final de rejeitos radioativos, a proteção de reatores fechados e finalmente o completo descomissionamento dos reatores após um período mais ou menos longo de “resfriamento”. Todos estes investimentos têm que ser recuperados ao longo da operação da usina, além de serem reservados para gastos muito posteriores. Estes custos, incluindo seguro contra acidentes, variam de um país para outro. A dificuldade do cálculo é maior ainda, considerando que as trajetórias normais de desconto não se aplicam aos prazos antecipados. A uma taxa de desconto de 15%, por exemplo, os custos incorridos depois de 15 anos ou mais serão irrisórios. Como representarão um ônus para nossos filhos no mundo real, no entanto, estes custos são mais um manancial de incertezas para o financiamento de reatores e na determinação do preço da geração de eletricidade com a energia nuclear.

A discussão lançada em alguns países sobre ressuscitar o auge nuclear dos anos 70 até agora não teve impactos na realidade. Há poucos resultados além de um debate sobre a extensão de licenças das usinas. Novos projetos concretos são exceções absolutas. A grande maioria das usinas em construção hoje usa tecnologia indiana, russa ou chinesa. Os grandes vendedores ocidentais continuam com as carteiras totalmente vazias. A norte-americana Westinghouse recebeu uma encomenda de usina em um quarto de século. Para a Framatome ANP (controlada em 66% pelo grupo nuclear francês Areva e 34% pela Siemens) e suas empresas antecessoras, o reator Okiluoto na Finlândia é o primeiro contrato em quase 15



anos. Por isso, há mais políticos e jornalistas do que vendedores promovendo a idéia de um renascimento da energia nuclear. Eles acreditam que se adicionarem a energia nuclear às atuais políticas energéticas será mais fácil cumprir com as obrigações de curto prazo no controle do clima, e evitar apagões. A consequência disto, porém, é que quanto maior a força dos políticos e do público que clamam por um renascimento da tecnologia nuclear, maior a desfaçatez dos investidores que clamam pelo auxílio do Estado.

Nos EUA, o governo Bush é claramente favorável à extensão das licenças dos envelhecidos reatores nesse país. Depois da escassez de eletricidade em grandes estados como a Califórnia, além de espetaculares apagões, ele também defende a construção de novas usinas nucleares. A discussão se alimenta da crescente preocupação sobre o aquecimento global, que por sua vez foi provocada pelos desastrosos furacões de 2005. Até agora, porém, não levou à construção de um só novo reator, e sequer à emissão de uma licença de construção. Vários consórcios trabalham para obter uma licença conjunta para a construção e operação de novos reatores. Como não se cansam de dizer, no entanto, não vai dar certo sem o apoio do governo. Só o processo de autorização para uma nova série de reatores deve custar perto de US\$500 milhões. Até agora ninguém sabe o preço dos próprios reatores. Para ficarem do lado mais seguro, as empresas estão solicitando subsídios na ordem de bilhões de dólares, que já estão nos planos do Presidente Bush. A nova Lei de Energia aprovada pelo Congresso em meados de 2005 oferece US\$3,1 bilhões em subsídios para a energia nuclear ao longo de um período de dez anos. Entre outros riscos, o governo assim deve oferecer garantias contra atrasos. Os potenciais investidores já haviam pedido um pacote total, livre de preocupações como condição para o investimento, financiamento isento de impostos e vendas de eletricidade a preços garantidos pelo Estado. O Estado deve assumir a responsabilidade por acidentes sérios e – muito importante também – resolver o problema da disposição final de rejeitos.

Após uma longa demora, o grupo francês EDF, agora parcialmente privatizado, indicou em 2004 o local para o piloto do Reator Europeu a Água Pressurizada (EPR), em Flamanville, no departamento de Manche. Havia diminuído, porém, a costumeira disposição do governo francês em financiar este tipo de projeto. O ex-diretor da EDF François Rousseley também declarou que as razões por trás da construção de reatores deste tipo no futuro previsível têm menos a ver com a geração de eletricidade do que com “manter a *expertise* industrial europeia neste campo”.<sup>13</sup> Em outras palavras, os motivos pela construção de uma usina-piloto na França não se fundamentam em uma política energética, mas em objetivos industriais e políticos.

Motivos políticos também tiveram muito peso na polêmica decisão pelo Parlamento Finlandês de construir um novo reator. A vertente básica veio do crescente apetite por eletricidade nos últimos 20 anos, que colocou o consumo per capita da Finlândia em mais que o dobro da média europeia. Ao mesmo tempo, os políticos se preocupam com uma excessiva dependência ao gás russo e por não conseguir cumprir com as obrigações do país no Protocolo de Kyoto, sem recorrer à energia nuclear. O contrato ganhou pela fabricante franco-alemã Framatome ANP para construir o piloto do Reator Europeu a Água Pressurizada (EPR) na costa finlandesa do Mar Báltico veio, em última instância, da concessionária de energia TVO. O Estado controla 43% desta empresa. Desde que a construção começou oficialmente em agosto de 2005, a comunidade nuclear internacional vê no projeto Olkiluoto 3 a prova que a energia nuclear voltou a ser um bom investimento, mesmo em um mercado de eletricidade desregulamentado. Esta postura, no entanto, deve ser observada com ceticismo. É pouco provável que este tipo de reator tivesse uma chance em condições competitivas normais.

O financiamento foi viabilizado por um acordo que compensou os aproximadamente 60 acionistas, principalmente concessionárias elétricas, ao garantir que a eletricidade gerada pelo reator seria vendida a preços comparativamente altos. A TVO e a Framatome ANP também acordaram um preço fixo para o reator comple-

<sup>13</sup> François Rousseley, op.cit.

to – “pronto para uso” – de 3,2 bilhões de euros. Este tipo de contrato, tão atraente quanto inusitado para o comprador, foi possível porque a Framatome ANP precisava de uma licença de construção a, literalmente, qualquer preço, depois de mais de uma década de trabalho de desenvolvimento no EPR. Mesmo antes de colocar a pedra fundamental, ficou claro que o consórcio Areva/Siemens havia feito cálculos extremamente apertados para posicionar seu reator-protótipo na frente dos concorrentes nucleares, e não só fósseis.

A capacidade do reator aumentou constantemente durante o período de desenvolvimento do EPR nos anos 90. As próprias dimensões visavam garantir a rentabilidade. Com uma capacidade bruta projetada de 1.750 megawatts e uma produção de 1.600 megawatts, o EPR é de longe a usina nuclear mais poderosa no mundo, complicando consideravelmente a sua integração na maioria das redes elétricas. Uma série de outras projeções que deram ao reator uma vantagem competitiva no papel sobre outras opções, inclusive não nucleares, podem ser promessas difíceis de serem cumpridas no futuro. Elas incluíam um prazo de construção de apenas 57 meses, um fator de carga de 90%, um grau de eficiência de 36%, uma vida útil técnica de 60 anos, um consumo de urânio 15% menor do que os reatores anteriores e custos operacionais e de manutenção consideravelmente menores do que nos reatores existentes.

Os especialistas consideram que todas estas projeções são extremamente otimistas. Nenhuma usina piloto já respeitou seu prazo projetado de construção ou seu fator de carga prometido. Este consórcio franco-alemão também não poderá contar com isenção de atrasos na construção, pequenas falhas nas primeiras operações ou paralisações não programadas. Apesar disto, os custos operacionais e de manutenção prometem ser menores do que os dos reatores padrão atuais, durante toda a vida útil de 60 anos. Ao mesmo tempo, instalações suplementares de segurança, como a sofisticada unidade de contenção (“*core catcher*”) devem deixar o EPR mais seguro, sem ser mais caro do que seus antecessores.

Não parece possível que todas estas promessas sejam cumpridas em Olkiluoto. Mesmo que todas as metas sejam alcançadas, como o prazo da construção, o preço calculado de 3,2 bilhões de euros é visto como artificial. Surgiu originalmente no contexto da produção de uma série de aproximadamente dez reatores, hipótese totalmente fora do baralho. Em outros setores, existe um termo explícito para este tipo de comportamento com os preços: “*dumping*”.

Se os preços da construção de fato se multiplicarem, o projeto vai virar um pesadelo financeiro para a Framatome ANP, devido ao preço fixo acordado com os clientes finlandeses. Um grito de socorro para o Estado não deve demorar. Já foi assim para conseguirem o financiamento, quando o banco Bayerische Landesbank assumiu um papel importante. O estado da Baviera possui 50% deste banco, sediado em Munique, igual à participação do fabricante do reator, a Siemens. O banco é sócio de um consórcio internacional que está bancando um empréstimo de 1,95 bilhões de euros para o EPR finlandês a juros baixos, informados como sendo de 2,6%. O governo francês está apoiando a empresa Areva, dona da Framatome ANP, com uma garantia de empréstimo para a exportação – dinheiro na verdade reservado para investimentos em países política e economicamente instáveis – de 610 milhões de euros através da agência Coface, de empréstimos para a exportação. Frente a estes esforços conjuntos de vários países especialmente interessados no projeto, a Federação Europeia de Energias Renováveis (EREF) apresentou uma queixa na Comissão da União Europeia argumentando que houve violação das regras europeias para a concorrência. Fica claro que sem o auxílio estatal, teria havido outra decisão sobre o reator finlandês. Neste caso, o auxílio veio dos países dos construtores e dos compradores. A energia nuclear, evidentemente, só é competitiva onde recebe muitos subsídios ou em países onde a tecnologia nuclear já se ancorou em doutrinas de Estado e, conseqüentemente, onde os custos desempenham um papel secundário. Por isso, onde houver planos para construir novos reatores em economias de mercado, devemos esperar que os investidores contem com o apoio do Estado, para se

garantir contra o aumento dos custos de construção, contra paralisações imprevistas, variações no preço do combustível e a dificuldade de estimar os custos de fechamento, desmantelamento e disposição dos rejeitos. Em última instância, os governos terão que assumir as conseqüências de cada acidente sério que envolver uma liberação maciça de radioatividade. Nenhum país do mundo pode fazer isso sozinho. Enquanto as empresas seguradoras emitem apólices que variam de um país para outro dependendo dos custos totais antecipados, a parte dos danos que assumirão em qualquer caso é irrisória.

A tecnologia nuclear ocupa assim uma posição absolutamente singular. Meio século depois de alcançar os mercados comerciais, movida a subsídios bilionários, ela ainda exige e recebe o auxílio estatal para cada novo projeto, precisamente como se precisasse de ajuda para entrar no mercado pela primeira vez. É espantoso observar como esta prática extraordinária também é defendida e pleiteada precisamente por políticos que, em outros contextos, berram por “mais condições de mercado” no setor energético. Em muitos países industrializados, esses mesmos políticos produzem argumentos sobre teorias de mercado em campanhas contra os subsídios para a promoção da energia renovável de fontes solar, eólica, hidráulica, biomassa e geotérmica. Há, porém, outra diferença essencial. O futuro da energia nuclear já passou, enquanto o futuro das energias renováveis recém começa.

## 10. CONCLUSÃO: RENASCIMENTO DE DECLARAÇÕES

---

Sob o marco de crescentes crises nas áreas de clima e de energia, abriu-se uma nova rodada de debates sobre a energia em vários dos grandes países do mundo. Animada por vendedores e suas caixas de ressonância na mídia, a visão de uma “renascença da energia nuclear” expressa também a necessidade de decisões de

longo alcance. A maioria das usinas no mundo construídas durante o primeiro (e por enquanto o último) *boom* da energia nuclear está chegando ao final de suas vidas úteis projetadas. Ao longo dos próximos dez anos, e particularmente na década seguinte, a produção rapidamente declinante de energia nuclear terá que ser substituída. Decisões terão que ser tomadas para construir novas usinas de energia não-nuclear ou para estender a geração de eletricidade de base nuclear no futuro. Alguns grandes países já estão questionando se querem manter seus reatores envelhecidos na rede além das projeções originais de vida útil. A extensão seria útil para as concessionárias elétricas adiarem decisões sobre investimentos bilionários e lucrar com os baixos custos de seguir operando velhos reatores já depreciados. Os gestores energizam o inevitável risco adicional de maneira subjetiva. Eles não esperam por acidentes graves, que certamente não ocorrerão em uma usina nuclear operada por sua própria empresa, e menos ainda na que eles administram. É aqui onde se diferencia o interesse deles, do interesse público. Estender a vida operacional de um reator cria um risco de desastre desproporcional. Se todas, ou muitas usinas nucleares, operarem durante períodos mais longos, o risco total aumenta substancialmente.

Estas decisões iminentes sobre como sustentar a oferta global de energia em um mundo marcado por altas taxas de crescimento demográfico e extremas iniquidades na riqueza vão muito além de saber como lidar com a energia nuclear no futuro. A responsabilidade é compartilhada por todos os países industrializados desenvolvidos e por muitos países recém desenvolvidos que ainda não usam ou usam pouca energia nuclear. Uma coisa já está clara: a nova estrutura energética não mais dependerá exclusiva ou principalmente de grandes usinas geradoras. E outra coisa também: o futuro não deve ressuscitar uma tecnologia arriscada de meados do século passado, sustentada por tradicionais interesses econômicos no setor energético.

Ainda não há uma renascença da energia nuclear. Em seu lugar, há uma renascença de declarações sobre a energia nuclear. Este vigésimo aniversário do desastre de Chernobyl também provocou uma renascença de críticas a essa forma de

geração de energia e, para algumas pessoas, uma renascença de esperança. O debate social e político está reanimado em vários países que vão moldar o futuro da energia nuclear. O resultado desse debate ainda não está claro. Um só projeto nuclear na Finlândia não prova coisa alguma. O número de novos projetos de construção anunciados pelo mundo não é suficiente sequer para manter constante a participação global da energia nuclear, seja em termos absolutos seja em termos relativos. Novas usinas nucleares são construídas apenas onde uma doutrina de Estado sustenta esta forma de geração de energia, ou onde órgãos de Estado se dispõem a bancar o seguro primário para riscos financeiros e de segurança. Os que desejam construir novas usinas nucleares – ou que estão sendo instados a fazê-lo por políticos, como acontece nos EUA – ainda precisam de apoio oficial quase tanto quanto os pioneiros nucleares precisaram nos anos 60.

Soa paradoxal: a energia nuclear foi sucesso de mercado porque havia tão pouco mercado que não podia dar errado. Com o monopólio sobre as redes da época, a oferta de eletricidade era considerada um “monopólio natural” e uma necessidade básica vital, e como tal foi sustentada por empresas estatais, para-estatais ou pelo menos monopólicas. Na maioria dos países industrializados, portanto, o Estado também segurava a batuta para a introdução da energia nuclear, inicialmente para fins militares explícitos ou ocultos, e mais tarde para razões de natureza parcial ou exclusivamente industriais. Os imensos custos de pesquisa, desenvolvimento e introdução ao mercado da nova tecnologia foram bancados pelos governos, seja diretamente ou pela transferência aos consumidores por seu poder de influenciar os preços cobrados pelas concessionárias. Até hoje, construir novas usinas nucleares não é uma opção interessante para estas empresas em mercados desregulamentados de energia elétrica.<sup>14</sup> Há opções menos caras que não acarretam sequer uma fração dos riscos econômicos. É por isso que nenhuma nova usina nuclear será construída em condições de mercado – mesmo aumentando a demanda global por energia elétrica junto com a capacidade global de geração – a não ser onde governos

<sup>14</sup> Adolf Hüttl: "Ein deutsch-französisches Kernkraftwerk für Europa und den Weltmarkt", palestra na sessão de inverno do Fórum Atômico Alemão (*Deutsches Atomforum*), (Bonn, 1992), manuscrito.

assumirem os grandes riscos, como fizeram na época do lançamento da energia nuclear. Este é o caminho dos finlandeses.

Outra pedra nesse caminho é que, onde estiver funcionando um mercado com vendedores de usinas, os concorrentes dos outros setores não ficam parados por muito tempo, apenas observando o apoio unilateral do Estado para uma tecnologia tão velha. O projeto na Finlândia avançou sozinho por outra razão também. Quase 20 anos depois de começar o desenvolvimento do Reator Europeu a Água Pressurizada, a empreiteira Framatome ANP precisava finalmente demonstrar sua tecnologia em um reator de verdade, e suas empresas proprietárias Areva e Siemens aparentemente se dispunham a assumir riscos financeiros consideráveis para construí-la. Lembremos que em 1992, a Siemens e a Framatome chamaram o reator uma “usina nuclear teuto-francesa para a Europa e para o mercado global”, que atenderia primeiro os “mercados domésticos” nos dois lados do Reno, para depois alcançar “terceiros países”. A construção dos dois reatores piloto deveria começar em 1998. Em 1990, a revista alemã *Wirtschaftswoche* já anunciara o fim da estagnação nuclear, com a manchete “Renascença Nuclear”.

No início do século XXI, uma avaliação equilibrada de todos os aspectos da energia nuclear continua rendendo uma conclusão inequívoca, essencialmente a mesma de 30 anos atrás. O risco de um acidente catastrófico, que fez da energia nuclear a forma mais polêmica de geração elétrica naquela época, não desapareceu. Novos riscos do terrorismo impedem terminantemente a perspectiva de estender esta tecnologia por regiões instáveis do mundo. Expandir globalmente a geração de energia elétrica nuclear provocaria uma falta de urânio até mais rapidamente do que manter a situação atual, ou então exigiria a conversão generalizada para a tecnologia regeneradora. Tal reorientação significaria a troca permanente para sistemas à base de plutônio. Elevaria o risco de acidentes catastróficos, de atentados terroristas e de proliferação de armas para um patamar superior e mais crítico. Afinal, a maioria dos países já abandonou a rota da regeneração, depois de dificuldades no



passado. Com ou sem a tecnologia regeneradora, ainda falta resolver o problema da disposição final, que terá mesmo que ser resolvido porque o problema – ou seja, o acúmulo de rejeitos – já está no mundo. Não pode, porém, ser uma solução relativa. Esta necessidade já seria um argumento suficiente para não exacerbar o que já é um grande problema para a humanidade, com um aumento maior ainda do volume destes rejeitos.

A energia nuclear também não pode resolver o problema do clima. Mesmo que fosse triplicada a capacidade nuclear global até 2050, seria modesta a diferença para o alívio da pressão sobre o clima. Além de não ser realista, seria irresponsável, devido à insuficiência de capacidade industrial, aos enormes custos e aos riscos maiores ainda. É muito mais provável, como já indicam certos fatores, que com o envelhecimento das usinas atuais, a produção global dos reatores vai diminuir significativamente ao longo das próximas décadas. Enquanto isso, há estimativas robustas a indicar que uma estratégia energética global baseada principalmente em ganhos de eficiência na gestão da energia, na indústria no setor de transportes e na calefação, junto com o desenvolvimento sério de energias renováveis, será capaz de cumprir com a redução de emissões de CO<sub>2</sub> indicado por especialistas, sem recorrer à energia nuclear. Os desafios correlatos são francamente inéditos e exigirão nada menos que uma política climática global compartilhada por todos os principais países produtores de gases de efeito estufa. O pretenso conflito central entre “proteção do clima versus eliminação da energia nuclear”, a não ser em casos especiais regionais ou temporários, não passa de uma quimera gerada pela indústria de energia nuclear.

É evidente que não haverá renascença nuclear no futuro previsível sem maciços subsídios oficiais. Isto em si não exclui a possibilidade. Apesar de as concessionárias quererem lucrar com investimentos antigos e já depreciados, os políticos estão animados para reabrir a questão da energia nuclear, por temor a preços galopantes no setor energético e em atenção à necessidade de controles mais ri-

gorosos para o clima. Estas duas considerações alimentam o debate nos EUA há alguns anos, já provocaram a construção de uma nova usina na Finlândia, estagnaram o processo de abandono progressivo da energia nuclear na Alemanha e recentemente vêm suscitando debates sobre novas usinas no Reino Unido. Os políticos tendem a seguir trabalhando com as velhas estruturas e atores conhecidos. Muitos deles, portanto, não hesitariam em conceder novos subsídios para outro lançamento da mesma velha indústria de energia nuclear, mais de 50 anos depois do início das usinas comerciais de energia nuclear, como se fosse a coisa mais normal do mundo.

Se encontrar uma brecha, o novo debate sobre reatores vai esquentar. Os novos reatores, porém, não vão contribuir para uma redução sustentada do aquecimento global, e nem vão conter os preços da energia no longo prazo. Na verdade, apenas exacerbariam os riscos de acidentes catastróficos e desviariam a atenção de estratégias de proteção do clima que possam dar certo. Resumindo, tal como no auge dos primeiros debates sobre energia nuclear nos anos 70 e 80, não faltarão os melhores argumentos para as forças da causa anti-nuclear.

# Energia Nuclear no Brasil: uma história de controvérsias, riscos e incertezas

CÉLIO BERMANN

## **O AUTOR:**

Célio Bermann é formado em arquitetura e urbanismo, com Doutorado em Engenharia Mecânica. É professor do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo, onde leciona no Programa de Pós-Graduação em Energia da USP e coordena a linha de pesquisa “Energia, Sociedade e Meio Ambiente”, além de também lecionar na graduação da Escola Politécnica da USP. É coordenador do tema energia no Projeto Brasil Sustentável e Democrático da FASE-Federação de Órgãos para Assistência Social e Educacional (RJ), que conta com o apoio da Fundação Heinrich Böll. Em 2003-2004 desempenhou as funções de assessor ambiental no Ministério de Minas e Energia.

## SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO .....	134
1. BREVE HISTÓRICO DAS ATIVIDADES NUCLEARES NO BRASIL .....	136
2. O CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR NO BRASIL .....	140
3. USOS DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL NAS ÁREAS BIOLÓGICAS E MÉDICAS .....	141
4. A TERMOELETRICIDADE NUCLEAR NO BRASIL .....	142
5. O PROGRAMA NUCLEAR PARALELO .....	146
6. À GUIZA DE CONCLUSÃO .....	151
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	152

## APRESENTAÇÃO

---

No plano internacional, a energia nuclear como opção para a geração de eletricidade está voltando a ganhar espaço.

Os Estados Unidos, que não constrói um novo reator nuclear a mais de vinte anos, está agora procurando retomar o seu programa nuclear através da criação de incentivos fiscais e simplificação do licenciamento ambiental de novos reatores. A Inglaterra está agora discutindo a retomada do seu programa nuclear. A Finlândia é o primeiro país da Europa ocidental a iniciar a construção de uma nova usina nuclear, a partir de tecnologia desenvolvida pela empresa franco-alemã Framatome ANP para o Reator Europeu de Água Pressurizada-EPR, cuja concepção procura evitar as conseqüências de um derretimento de núcleo por via de uma unidade sofisticada de contenção.

Ao mesmo tempo em que se assiste a esta corrida para novos reatores, os construtores das antigas usinas nucleares, em articulação com as empresas operadoras, buscam estender as licenças de operação, inicialmente estabelecidas considerando a vida útil de 30 anos, para 40 ou, em alguns casos, 60 anos.

Ainda, em países como a Coréia, China, Índia e Irã, os programas de construção de novos reatores ganharam maior vigor. Por seu turno, na América Latina, os programas nucleares estão momentaneamente paralisados, mas sob intensa pressão para sua retomada. É o caso dos projetos de Atucha II na Argentina, e Angra III no Brasil.

Em realidade, este processo de “renascimento” da energia nuclear está encontrando dois importantes apoios.

O primeiro vem das indústrias fabricantes de reatores e equipamentos auxiliares, cujo interesse está relacionado com a ampliação do mercado, que permaneceu durante muito tempo estagnado. Estas indústrias são alemãs, inglesas, francesas e americanas, que exercem uma pressão vigorosa não somente nos seus próprios países, como também nos países do 3º. Mundo, através da articulação de poderosos lobbies. Via de regra, estes lobbies encontram em cada um destes países um apoio de cunho nacionalista, muitas vezes impregnado de uma forte conotação militar. Nos países da América Latina como a Argentina, o Brasil, o México, e mais recentemente a Venezuela, esta é a principal marca dos movimentos de pressão pró-nuclear.

O segundo se apropria de forma oportunística da questão ambiental, em torno do aquecimento global determinado pela queima dos combustíveis fósseis para geração de eletricidade, decorrente das emissões de dióxido de carbono. O fato é que cerca 85% da matriz energética mundial utiliza o petróleo, o carvão mineral e o gás natural. Nesse sentido, o combustível nuclear, que não emite gases de efeito-estufa, seria uma alternativa ambientalmente adequada para substituir os combustíveis fósseis na produção de eletricidade.

Sob este mesmo ponto vista ambiental, e como contraponto a esta preconizada ação de atenuação do aquecimento global, deve-se ressaltar no passado recente diversos eventos como vazamentos de material radioativo pelas varetas que acondicionam o combustível físsil no interior do reator nuclear, ou falhas no manuseio do material. O futuro descomissionamento das usinas nucleares também apresenta problemas, pois na maioria dos países não existe um plano de ação para o período posterior à paralisação completa das usinas. Ainda, os problemas se estendem à disposição final dos rejeitos de alta radioatividade, além de falhas frequentes nos planos de emergência em caso de acidente.

A esse respeito, os acidentes na usina americana Three Mile Island (1979) e Chernobyl (1986) na Ucrânia não devem ser desconsiderados quando se discute a segurança destes reatores.

Por fim, a questão política que envolve o debate sobre a energia nuclear deve ser também ressaltada. Em cada um dos países que hoje estão rediscutindo seus programas nucleares, é essencial que os canais de participação neste debate e no processo de decisão estejam abertos para a massiva participação informada da sociedade. No Brasil, a decisão sobre a retomada do programa nuclear está no Conselho Nacional de Política Energética, sem a participação de uma representação da sociedade civil, embora esta presença seja prevista nos seus estatutos.

Cabe assinalar que o principal argumento que tem sido utilizado para preconizar a continuidade do Programa Nuclear no nosso país aponta como “ponto favorável” o fato de possuímos a sexta maior reserva mundial de urânio (cerca de 300 mil toneladas), suficiente para nos assegurar a independência no suprimento de combustível por muito tempo. Outro argumento reside na necessidade do Brasil diversificar a sua matriz de produção de eletricidade.

Foi nesta perspectiva que, recentemente, o ministro da Ciência e Tecnologia Sérgio Rezende anunciou a reativação do programa nuclear brasileiro, estabelecendo no Plano Nacional de Energia Nuclear a construção de sete usinas, duas delas a serem instaladas no Nordeste, às margens do rio São Francisco.

Não faltam ainda, argumentos políticos que levantam uma pretensa necessidade do Estado do Rio de Janeiro (onde está instalado o complexo nuclear de Angra dos Reis) alcançar uma “autonomia” energética, derivada do fato de que sua demanda por eletricidade é dependente de uma pseudo “importação” de energia de outros estados.

O presente artigo foi elaborado com o objetivo de fornecer ao grande público informações históricas sobre a trajetória da energia nuclear no país, os problemas que envolvem as atividades nucleares, onde as questões econômicas e tecnológicas se misturam com as questões políticas e estratégicas, e cujas consequências têm permanecido distantes do conhecimento e compreensão da sociedade brasileira.

# 1. BREVE HISTÓRICO DAS ATIVIDADES NUCLEARES NO BRASIL

---

A história das atividades nucleares no Brasil sempre envolveu os mais diversos interesses de militares, políticos, grandes potências, empresários e cientistas. Na maior parte das vezes as razões energéticas foram meras justificativas para esconder estratégias militares ou interesses econômicos.

No início da década de 40, antes da primeira bomba atômica ser detonada, os EUA, que já faziam pesquisas na área nuclear visando objetivos militares, firmam o primeiro programa para a prospecção de recursos minerais brasileiros. Este programa resultou em diversos acordos, firmados na mesma década e na seguinte, chegando o Brasil a trocar, em 1954, dez mil toneladas de minerais radioativos brutos (monazita e terras raras) por cem mil toneladas de trigo.

Já em 1946, numa reunião das Nações Unidas em que os EUA propuseram um tratado internacional que criaria uma autoridade mundial responsável pela gestão de todas as reservas de urânio do mundo, o Brasil, representado pelo almirante Álvaro Alberto da Mota e Silva, juntamente com a União Soviética, são os únicos países a oporem-se ao chamado Plano Baruch, que assegurava aos EUA o monopólio da tecnologia e das matérias-primas nucleares no mundo ocidental. Nesta oportunidade, Álvaro Alberto propôs o Princípio das Compensações Específicas, em que o Brasil, assim como outros países subdesenvolvidos, forneceriam a matéria prima desejada em troca de um preço justo e da prioridade na instalação, em seu território, de reatores nucleares de todos os tipos.

Em 1947 foi criada a Comissão de Fiscalização de Minerais Estratégicos, dando início a uma intensa disputa, dentro do Estado, de setores interessados ou não na exportação de material radioativo bruto. As exportações de monazita continuaram até 1951 quando foi criado, por sugestão da Comissão de Fiscalização de Materiais Estratégicos, o CNPq. Entre as atribuições do então Conselho Nacional de Pesquisas estava o controle das reservas de urânio e tório que, naquele momento, teve sua exportação proibida.

Entretanto, em 1952, foi criada a Comissão de Exportação de Materiais Estratégicos, uma comissão que responderia diretamente ao Ministério das Relações Exteriores, sendo composta de funcionários dos ministérios da Fazenda, da Agricultura, das Forças Armadas, do CNPq e da Cacex. Ou seja, o CNPq teve o seu poder sobre as reservas de urânio e tório diluído e as exportações aos norte-americanos recomeçaram. Na verdade, o Brasil estava sendo pressionado a enviar tropas para a Guerra da Coreia e, para não fazê-lo, voltava a exportar o seu urânio.



Em 1954, o almirante Álvaro Alberto assumiu a presidência do CNPq e encomendou a físicos alemães a construção de três conjuntos de centrifugação para o enriquecimento de urânio. Os conjuntos acabaram sendo interceptados pelo Alto Comissariado do Pós Guerra, 24 horas antes do embarque para o Brasil, a partir de denúncia feita pelo militar brasileiro Octacílio Cunha. Documentos revelados posteriormente mostraram que o Brasil estaria sendo impedido de buscar o enriquecimento do urânio por ser um país localizado dentro da área de influência dos EUA.

Com o suicídio do presidente Getúlio Vargas e a exoneração de Álvaro Alberto da presidência do CNPq, o novo presidente, Café Filho, assinou, já em 1955, a integração do Brasil ao programa americano "Átomos para a Paz". O programa sinalizava que os EUA haviam desistido de impedir o acesso de outros países às tecnologias atômicas procurando agora inseri-los sob o seu controle e vigilância. Em 1956 foi instaurada, sob pressão norte-americana, uma CPI para investigar supostas irregularidades no CNPq. Na verdade, o desenvolvimento atômico brasileiro era objeto de disputa entre dois setores do Estado, um representado pelo Itamaraty e outro pelo CNPq.

O setor representado pelo Itamaraty passou a dominar a política nuclear do país. No mesmo ano de 1955 foram assinados dois acordos com os EUA: o Acordo de Cooperação para o Desenvolvimento de Energia Atômica com Fins Pacíficos; e o Programa Conjunto para o Reconhecimento e a Pesquisa de Urânio no Brasil. O primeiro acordo previa que o Brasil arrendaria dos EUA, por um período de cinco anos, até seis quilos de urânio enriquecido a 20%, a ser usado como combustível para reatores de pesquisa encomendados também junto aos EUA. O segundo acordo previa a pesquisa e avaliação das reservas de urânio brasileiras, que seriam vendidas aos EUA.

Contudo, a posse de Juscelino Kubitschek em 1956, significou uma nova conjuntura para a política nuclear brasileira. São criados neste ano o IEA (Instituto de Energia Atômica) na USP - que será transformado no Ipen (Instituto de Pesquisas Energética e Nucleares) - e a Cnen (Comissão Nacional de Energia Nuclear), diretamente subordinada à presidência da república. Foram estabelecidas diretrizes para uma política nacional de energia nuclear, em que há uma tentativa, através de medidas aparentemente contraditórias, de resgate da autonomia no setor. Nos anos seguintes, foram também firmados acordos com outros países que não os EUA.

Este período é o de maior desenvolvimento dos grupos de pesquisadores nas universidades e nos centros de pesquisa. Os reatores de pesquisa norte-americanos foram trazidos a diferentes grupos de cientistas brasileiros. Criado em 1952, o Instituto de Pesquisas Radioativas (ligado à UFMG), em Belo Horizonte, foi um destes grupos que também abrigou, no final da década de 1950, o Grupo do Tório, uma equipe de pesquisadores que busca o desenvolvimento de um reator de pesquisa diferente daqueles que já operavam no Brasil, baseados em urânio enriquecido e água leve. O reator que buscavam desenvolver seria baseado em diferentes ciclos de combustível (não necessitando de

urânio enriquecido) e água pesada. Suas pesquisas foram encerradas em 1975, quando o governo federal optou pelos reatores de água leve e firmou o Acordo com a Alemanha Ocidental.

Em 1963, o Instituto de Energia Nuclear, criado em convênio da Cnen com a UFRJ, passou a construir um reator com componentes nacionais, à exceção do combustível. Chamado de Argonauta, o reator entrou em operação em 1965. Nesse momento, a Cnen era o órgão que geria a exportação de minérios para uso nuclear. Estas agências governamentais que foram criadas formaram uma burocracia técnica para o setor nuclear, com importantes consequências no desenvolvimento e manutenção do mesmo. Esta tecnocracia ganhou ainda mais importância após o golpe militar de 1964 e a conseqüente centralização do Estado.

Ainda em 1959, foi criado o projeto Mambucaba, que previa a construção de uma usina para a geração de energia nuclear em uma praia vizinha a que hoje estão instaladas as usinas de Angra 1 e 2. O projeto, entretanto, não andou por falta de força política da Cnen, e acabou engavetado pela decisão momentânea dos militares de não usar a energia nuclear como fonte de energia elétrica.

Em 1967, o Brasil assinou o Tratado de Tlatelolco, em que alguns países da América Latina comprometeram-se a não fazer uso do poder nuclear como arma militar. O documento, entretanto, é ambíguo, dado que a energia nuclear pode servir tanto para fins pacíficos como para fins militares. No ano seguinte, o Brasil recusou-se a assinar o Tratado de Não Proliferação de Armas Nucleares, alegando ser este limitador da soberania nacional.

Ainda em 1967 a Cnen, agora vinculada ao Ministério das Minas e Energia, firmou um acordo para a construção da primeira central de geração de energia nuclear. O lugar escolhido foi Angra dos Reis, principalmente pela proximidade com os grandes centros do sudeste. Uma concorrência internacional foi aberta, em 1970, para a compra do reator de Angra 1 e foi vencida pela norte-americana Westinghouse, subsidiária da General Electric.

Em 1972 o Brasil assinou um novo acordo com os EUA, em que estes forneceriam urânio enriquecido (numa quantidade que não ultrapassasse 2300 kg em 30 anos) em troca de urânio natural brasileiro. Ficava a cargo da Comissão de Energia Atômica dos EUA o controle das instalações brasileiras para que estas não fizessem uso militar. Neste acordo também fica acertado que o reator de potência a ser vendido para o Brasil seria um PWR (Reator de Água Pressurizada). Era um contrato do tipo caixa-preta, que impossibilitava a desejável incorporação de tecnologia. Também o financiamento do projeto gerou muitas suspeitas, pois foi feito por um banco que logo em seguida foi comprado pelo então Ministro da Fazenda Mário Henrique Simonsen.

Outros países subdesenvolvidos também vinham desenvolvendo projetos de reatores de potência, como a Argentina e a Índia. Esta última, em 1974, detonou a sua primeira bomba atômica, construída a partir de subprodutos (como o plutônio) de seu reator de potência. Este fato dificultou ainda mais as negociações com os americanos para a construção do reator brasileiro. Em virtude disso, em 1975, foi assinado o Acordo Brasil-República Federal da Alemanha, sendo esta transformada em parceira oficial do Brasil com relação a assuntos nucleares.

O acordo com a Alemanha, entretanto, não significou uma grande melhoria com relação à transferência de tecnologia. O contrato continuava a ser no estilo caixa preta e pressões populares na Europa dificultaram o envio de material radioativo para o Brasil. Soma-se a isso as dificuldades financeiras enfrentadas pelo Brasil na década de 1980, inviabilizando investimentos vultuosos no programa nuclear. As empresas criadas quando do acordo com a Alemanha para o desenvolvimento nacional da tecnologia (Nuclebrás e suas subsidiárias) não alcançaram êxito.

No entanto, a combatida política nuclear desenvolvida durante estes anos foi suficiente para criar uma classe de pesquisadores bastante atuante na defesa da pesquisa nuclear no Brasil. Apesar da opção do Estado brasileiro de importar totalmente a tecnologia para a construção de reatores de potência, a pesquisa nuclear continuou localizada principalmente nos centros de pesquisa universitários e com o forte apoio de um grupo de militares. Em 1979, iniciou-se o Programa Nuclear Paralelo, desenvolvido pela marinha e apoiado pelo Ipen/Cnen-SP (antigo IEA) com o objetivo de desenvolver um submarino nuclear.

Este programa foi mantido durante um longo período fora do conhecimento público. Em setembro de 1987, o então presidente José Sarney anunciou o domínio do enriquecimento do urânio, alcançado pelos pesquisadores envolvidos no Programa Nuclear Paralelo. No ano seguinte, a Nuclebrás foi extinta e o Programa Nuclear Paralelo passou a ser incorporado às pesquisas oficiais. O controle de Angra 1 e do canteiro de obras de Angra 2 e 3 foi transferido para a então estatal Eletrobrás. Por seu turno, foi criada a Eletronuclear, subsidiária da Eletrobrás e ligada à Cnen, que passou a gerir as atividades em Angra, ainda obedecendo aos acordos firmados com a Alemanha (através da Siemens).

Com relação ao conhecimento científico, pode-se dizer que os maiores progressos foram conseguidos pelo Ipen, através do grande aporte de recursos da marinha, interessada no desenvolvimento do sistema de propulsão do submarino nuclear (projeto com orçamento previsto de 1,4 bilhões de dólares). Hoje o Brasil domina o ciclo do enriquecimento do combustível para reatores nucleares de pesquisa, estando a tecnologia para reatores de potência pronta para a industrialização, que deve ser feita pela INB (Indústrias Nucleares do Brasil). Esta é a herdeira das subsidiárias da Nuclebrás e conta com a transferência da tecnologia desenvolvida pelo Ipen para o enriquecimento de urânio a ser usado como reator de potência (3,2%) e reator de pesquisas (20%).

## 2. O CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR NO BRASIL

De forma esquemática, o ciclo completo do combustível nuclear envolve as seguintes etapas:

- a) Mineração:** após a descoberta da jazida e feita sua avaliação econômica (prospecção e pesquisa), inicia-se a mineração e o beneficiamento. Na usina de beneficiamento, o urânio é extraído do minério, purificado e concentrado num sal de cor amarela, chamado "yellowcake". No Brasil, estas etapas são realizadas na Unidade de Lagoa Real (BA) das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), onde são produzidas cerca de 300 ton/ano de concentrado de urânio. O CNEN sustenta que o teor e a dimensão de suas reservas são suficientes para o suprimento de Angra 1, 2 e eventualmente, Angra 3 por 100 anos.
- b) Conversão** do yellowcake (óxido de urânio -  $U_3O_8$ ) em hexafluoreto de urânio ( $UF_6$ ) sob estado gasoso, após ter sido dissolvido e purificado.
- c) Enriquecimento Isotópico:** tem por objetivo aumentar a concentração de urânio 235 (U-235), presente em 0,7% no estado natural, para 2 a 5%, servindo então como combustível nuclear. Esta etapa vem sendo garantida através da importação do combustível, disponibilizado na Alemanha e Holanda, pelo consórcio europeu URENCO. Entretanto, desde 2004 esta etapa vem sendo realizada pelo processo de ultracentrifugação na Fábrica de Elementos Combustíveis (FEC) da INB, em Resende (RJ), inicialmente em escala experimental. Após vários adiamentos, está prevista para o mês de abril de 2006 a entrada em operação industrial, que será capaz de suprir 60% das necessidades de Angra 1 e 2 em 2010.
- d) Reconversão** do gás  $UF_6$  em dióxido de urânio ( $UO_2$ ) ao estado sólido (pó). Esta etapa é realizada em Resende (RJ), desde 1999, na Unidade II da Fábrica de Elementos Combustíveis (FEC), da INB.
- e) Fabricação** das Pastilhas de  $UO_2$ , também na Unidade II da FEC.
- f) Fabricação** de Elementos Combustíveis: as pastilhas são montadas em varetas de uma liga metálica especial, o zircaloy. Esta etapa é realizada na Unidade I da FEC, também localizada em Resende (RJ).

Os Elementos Combustíveis são compostos pelas pastilhas de dióxido de urânio montadas em tubos de uma liga metálica especial - o zircaloy - formando um conjunto de varetas, cuja estrutura é mantida rígida por reticulados chamados grades espaçadoras. É a fonte geradora do calor para geração de energia elétrica, em uma usina nuclear,

devido à fissão de núcleos de átomos de urânio. O elemento combustível é um conjunto de 235 varetas combustíveis - fabricadas em zircaloy - rigidamente posicionadas em uma estrutura metálica, formada por grades espaçadoras; 21 tubos-guias e dois bocais, um inferior e outro superior. Nos tubos-guias são inseridas as barras de controle da reação nuclear. Antes de serem unidas a estes tubos por solda eletrônica, as grades espaçadoras são alinhadas por equipamentos de alta precisão. A solda das extremidades das varetas se dá em atmosfera de gás inerte e sua qualidade é verificada por raios-X. As pastilhas de urânio, antes de serem inseridas nas varetas combustíveis, são pesadas e arrumadas em carregadores e secadas em forno especiais. Simultaneamente, os tubos de zircaloy têm suas medidas conferidas por testes de ultra-som e são minuciosamente limpos. Só então as pastilhas são acomodadas dentro das varetas sob a pressão de uma mola afastada do urânio através de isolantes térmicos de óxidos de alumínio. Um elemento combustível supre de energia 42.000 residências médias durante um mês.

Conforme a INB, desde 1996 o Brasil é um dos 12 países que fabricam elementos combustíveis nucleares. A partir do primeiro semestre de 1999, passou a integrar o grupo de produtores mundiais de pó e pastilhas de urânio enriquecido através da Unidade II da Fábrica de Elementos Combustíveis. Por sua vez, a etapa de enriquecimento isotópico foi objeto de controvérsias em outubro de 2004, quando o governo brasileiro impôs restrições a uma inspeção da Agência Internacional de Energia Atômica - AIEA, a quem caberia autorizar o seu funcionamento, sob alegação de "sigilo industrial".

### **3. USOS DA ENERGIA NUCLEAR NO BRASIL NAS ÁREAS BIOLÓGICAS E MÉDICAS**

---

Historicamente o desenvolvimento das tecnologias nucleares sempre esteve relacionado a questões estratégicas, como por exemplo, o desenvolvimento de armamentos nucleares. Pouco se fala em tecnologia nuclear ligada aos campos da biologia e medicina. No entanto, esse vínculo vem se tornando uma opção importante na solução de problemas do ser humano e do seu meio ambiente.

O Ipen foi fundado em 1956 (com o nome de IEA, Instituto de Energia Atômica), integrando o programa norte-americano conhecido como "Átomos para a Paz". O programa fazia parte da iniciativa do governo dos Estados Unidos em permitir o desenvolvimento da tecnologia nuclear nos países periféricos voltada para aplicações não militares. O reator IEA-R1 foi o primeiro do hemisfério sul a atingir criticalidade, em setembro de 1957.

Em 1962, foi desenvolvido junto com a Primeira Clínica Médica da Faculdade de Medicina da USP um programa de pesquisas clínicas, empregando radioisótopos, principalmente no diagnóstico de doenças tireoideanas. Um composto que interage de maneira diferente com as células cancerosas é marcado com radioisótopos, que fazem com que a mistura seja identificável através de um aparelho.

Hoje o Ipen produz radioisótopos que atendem em média 1,5 milhões de pacientes por ano em diferentes exames médicos, o que gera para o instituto uma receita anual de 18 milhões de reais. Este, entretanto, é um ramo da tecnologia nuclear ainda pouco explorado no Brasil. Na Argentina, aproximadamente 4 milhões de pessoas utilizam-se deste tipo de tratamento anualmente e o número sobe para 20 milhões quando falamos nos EUA.

Ao Centro de Radiofarmácia do Ipen foi conferido, no final do ano passado, pela Fundação Vanzolini, a certificação ISO 9002. É o único centro do país que produz radioisótopos com aplicações médicas.

Além da área médica, o Ipen atua junto a diversas instituições em questões de engenharia ambiental, onde os resíduos sólidos e semi-sólidos são hoje um dos maiores problemas. Em função disso, o instituto vem desenvolvendo uma metodologia de análise e tratamento de resíduos. Um dos objetos de estudo é a divisão química da Hoechst, localizada em Suzano (SP), que tem os seus resíduos analisados e a partir dessa análise determinado o seu impacto no meio ambiente. Outra aplicação de tecnologia desenvolvida no Ipen é na inspeção de vazamentos do gasoduto Brasil-Bolívia, feita através de Iridio.

A partir do início da década de 1980, o Ipen, através de sua Diretoria de Reatores, passou a integrar o grupo de pesquisa organizado pela Marinha do Brasil, interessado no desenvolvimento do sistema de propulsão de um submarino nuclear. O domínio do ciclo do combustível do reator, incluindo o enriquecimento do urânio, foi atingido em 1986, devido a essas pesquisas. Hoje, o Ipen é responsável pela produção de todas as etapas dos combustíveis utilizados em seus reatores de pesquisa.

## 4. A TERMOELETRICIDADE NUCLEAR NO BRASIL

---

A região de Angra dos Reis, no sul fluminense foi escolhida para a instalação do complexo nuclear brasileiro por apresentar algumas facilidades. A principal é a proximidade dos grandes centros consumidores, pois assim a usina pode fornecer energia através de linhas relativamente curtas. Angra fica (em linha reta) a 220km de São Paulo, 130

km do Rio e 350 km de Belo Horizonte, que são grandes consumidores de energia elétrica. A proximidade do mar é outro aspecto fundamental, uma vez que a usina utiliza-se de uma grande quantidade de água, em circulação, para resfriar o vapor produzido para acionar a turbina e ligar o gerador elétrico. A sua localização facilita também a chegada e saída de embarcações com equipamentos de grande porte.

A primeira central nuclear brasileira começou a ser construída em 1971, em Angra do Reis (RJ), sob suspeitas de instabilidade geológica e sísmica do local escolhido. O nome da praia, Itaorna, em língua tupi significa "pedra podre". Simulações de acidentes revelaram a fragilidade do projeto e a impossibilidade de evacuação dos moradores da região no caso de uma emergência.

Angra 1, conhecida popularmente como "vaga-lume", devido às freqüentes interrupções de funcionamento por motivos técnicos, foi inaugurada em 1982, em meio a controvérsias, já que a fabricante norte-americana, a Westinghouse, recusou-se a transferir tecnologia aos brasileiros.

Em 1975, ainda sob o regime militar, o Brasil firmou com a Alemanha um acordo de cooperação na área nuclear. Pelo acordo, seriam instalados mais oito reatores no país: dois em Angra dos Reis, ao lado de Angra 1, e outros seis no litoral sul do Estado de São Paulo. Reagindo rapidamente, a população paulista impediu a construção de "suas" usinas através da criação de uma estação ecológica exatamente no local onde seria implantada a central nuclear.

Assim, das oito usinas previstas, apenas Angra 2 foi concluída. Sua construção foi marcada por problemas técnicos e constantes atrasos no cronograma. Começou a operar somente em 2000, após quase vinte anos de construção, a um custo de cerca de US\$ 10 bilhões. Segundo números oficiais, já foram gastos com Angra 3 US\$ 750 milhões entre a compra e a estocagem dos equipamentos. O projeto de Angra 3 foi paralisado em 1992 por motivos econômicos, pois para entrar em operação necessitaria de mais US\$ 1,5 bilhão.

No que se refere aos principais problemas que se verificam no complexo nuclear localizado em Angra dos Reis, o tratamento dos resíduos e o Plano de Emergência a ser utilizado em situações de acidente, são tratados a seguir.

#### **4.1 O problema do tratamento dos resíduos**

Um dos principais argumentos utilizados pelos defensores das usinas nucleares é o seu baixo nível de poluição do ambiente. Segundo eles, a usina nuclear seria capaz de produzir energia elétrica "limpa". Esta, entretanto, não costuma ser a opinião

das organizações de defesa do meio ambiente, como o Greenpeace. O Greenpeace acredita que os testes já realizados envolvendo o destino do lixo nuclear são insatisfatórios e que testes confiáveis demandariam dezenas de milhares de anos.

Os rejeitos produzidos em Angra 1 e 2 podem ser classificados em três níveis de radioatividade: alta, média e baixa. Ainda não há, no Brasil, um lugar escolhido para o depósito definitivo do lixo nuclear, ficando o lixo de Angra em depósitos intermediários.

Para os rejeitos de baixa e média radioatividade (que deveriam ficar no depósito intermediário por no máximo três anos) o destino são dois galpões de concreto construídos dentro de rochas, ao lado da usina. Nestes galpões ficam armazenados tambores que, ou contém botas, macacões e outras roupas contaminadas (rejeitos de baixa radioatividade, com meia-vida aproximada de 60 anos) utilizadas por trabalhadores ou peças de metal do reator e resíduos químicos (rejeitos de média radioatividade). A maior parte dos tambores contém rejeitos de baixa radioatividade que podem, inclusive, ser reutilizados. Segundo Kleber Cosenza, Superintendente de produção de Angra 2, em uma inspeção periódica, feita há três anos, o material estocado passou de 1400 tambores para 400, devido à constatação de que aqueles objetos haviam perdido a radioatividade. Algumas peças de roupas foram reutilizadas.

O rejeito de alta radioatividade, que a indústria chama de subprodutos, é formado pelo elemento combustível já irradiado dentro do reator. Este rejeito tem uma meia-vida bastante longa, podendo chegar a dezenas de milhares de anos, o que torna a questão sobre o destino a ser dado a ele muito mais importante. Por incrível que pareça, o elemento combustível também pode ser reutilizado. Normalmente, ele é retirado do reator com apenas 15% de sua capacidade utilizada. Se a usina recebe elementos combustíveis com qualquer tipo de problema, pode recorrer ao combustível estocado a ser utilizado em combinação com o novo. O local de estocagem dos rejeitos de alta radioatividade de Angra são as suas piscinas. Para a usina de Angra 2 foi construída uma piscina dentro do reator (diferente da de Angra 1, que fica fora) com capacidade para armazenar os rejeitos produzidos por metade de sua vida útil, 20 anos. A piscina de Angra 1 pode armazenar os resíduos de seus 40 anos de atividade previstos. Ambas mantêm os resíduos submersos a mais de dez metros de profundidade, sendo a água a blindagem utilizada.

O projeto que define normas para a construção de locais definitivos de armazenamento de lixo nuclear já foi aprovado pelo Congresso, estando em tramitação no Senado. Ele segue as normas internacionais, que propõe a construção de silos de concreto no subsolo. A cidade em que fossem construídos estes silos seria beneficiada com compensações financeiras.

Os ambientalistas questionam as soluções propostas pelas centrais nucleares. Segundo eles, poderia haver contaminações do ar causadas por explosões ou vazamento contínuo de gases de um sítio (possíveis teoricamente), ou



contaminações da água, causadas por vazamento do invólucro que armazena o rejeito e que poderia atingir um lençol freático. O fato é que, principalmente com relação aos rejeitos de alta radioatividade, a solução encontrada deve levar em conta a longa meia-vida do lixo, que chega a milhares de anos.

## **4.2 As deficiências do Plano de Emergência em Angra dos Reis**

O Plano de Emergência de Angra está estruturado em Zonas de Planejamento de Emergência (ZPE), que ficam a 1, 3, 5, 10 e 15 km da usina. Dentro das instalações a responsabilidade pela retirada dos funcionários é da Eletronuclear. A medida mais imediata é a remoção dos funcionários para as vilas vizinhas de Mambucaba e Praia Grande. A área de responsabilidade da usina vai até 3 km. Fora dela, a incumbência é do governo estadual com a prefeitura de Angra e os órgãos de apoio: Exército, Marinha, Defesa Civil e Corpo de Bombeiros.

Dentre os problemas logísticos, o mais grave se refere às condições da rodovia Rio-Santos. No perímetro urbano da região de Angra dos Reis, a rodovia tem quebra-molas, que reduzem a velocidade e dificultam o trânsito. Há travessia de pedestres em amplos trechos, uma vez que as vilas de Mambucaba, Praia Grande e a Vila do Frade, todas do município de Angra, cresceram muito próximas da rodovia. Habitações de baixa renda e favelas completam o quadro de precariedade da região. A rodovia Rio-Santos ainda tem pontos onde o asfalto está em péssimas condições e o mato avança sobre a estrada. Já que a evacuação da população se daria pela Rio-Santos no caso de uma emergência, estes problemas dificultam muito a operação. A Eletronuclear tem dado apoio financeiro às obras de melhoria e recapeamento nos trechos mais críticos. Porém, a responsabilidade é do governo federal, já que se trata de uma rodovia federal.

O plano de emergência tem sido o ponto de maior conflito entre a Eletronuclear e a prefeitura de Angra. Segundo o ex-prefeito José Castilho, "os benefícios das usinas Angra 1 e 2 serão sentidos em nível nacional, ou pelo menos regional, já que as usinas fornecem energia para as grandes capitais da região sudeste. Porém o impacto negativo só se refletirá em Angra dos Reis. Na época das obras de Angra 1 havia 11 mil homens trabalhando. Eles trouxeram também suas famílias e isso gerou um contingente humano imenso que a cidade teve que abrigar. Muita gente veio de outros estados. E agora para funcionar a usina não gera muitos empregos, é possível mantê-la funcionando com cerca de dois mil homens ou menos. Além disso, só recentemente ela começou a pagar impostos, já que como estatal é isenta de cobrança. A cidade arcava com custos gerados e o impacto do fluxo humano e não recebia uma contrapartida". No entanto, segundo o próprio Castilho, essa situação mudou bastante de 1988 para cá. A usina começou a pagar impostos à cidade, cola-

bora nas obras da rodovia e o diálogo entre as partes tem melhorado. Entretanto, a Assessoria de Comunicação da usina ainda não cumpre com as suas responsabilidades em informar e orientar a população sobre o que ocorre nas usinas.

## 5. O PROGRAMA NUCLEAR PARALELO

---

A CPI da Energia Nuclear, que funcionou entre outubro de 1978 e fevereiro de 1982, suspeitou que o "programa nuclear paralelo" previa a fabricação da bomba atômica. Esta CPI foi presidida pelo então senador Itamar Franco, que durante os 14 anos de seus dois mandatos no Senado acompanhou a política nuclear brasileira.

Um documento secreto preparado pelo Conselho de Segurança Nacional brasileiro justificou o programa nuclear paralelo e definiu como um de seus objetivos a produção de "explosivos nucleares". É ressaltado que esses explosivos teriam "fins pacíficos".

Destinado ao então presidente João Baptista Figueiredo, o documento elaborado em novembro de 1984, levou a assinatura do general Danilo Venturini, à época secretário do Conselho de Segurança Nacional, coordenador do programa nuclear paralelo.

"Em face dessas dificuldades (pressão exterior) para se desenvolver uma tecnologia independente, foi necessário não apenas conseguir um adequado quadro gerencial, como conduzir um elevado grau de sigilo das atividades necessárias."

Mais adiante, o texto afirma: "Para alcançar o objetivo fixado, foi necessário desenvolver tecnologia própria, adequada às condições nacionais, para permitir o domínio do ciclo do combustível nuclear, incluindo o enriquecimento do urânio e o reprocessamento do material irradiado."

A expressão "reprocessamento do material irradiado" estimulou os temores de físicos, pois do urânio enriquecido, prepara-se o plutônio e passa-se para a bomba atômica.

"Nunca tivemos qualquer propósito bélico", afirmou Venturini, ressaltando que, já em 1967, o Brasil firmou na ONU, em Genebra, o direito de dominar a energia nuclear, o que poderia levar à produção de "artefatos nucleares para fins pacíficos".

O programa nuclear paralelo, exposto no documento, sempre esteve na mira da embaixada americana no Brasil e da CIA, servindo como um dos grandes mistérios nacionais.

O texto, em sua segunda página, registrava o item "objetivo dos projetos autônomos", onde expunha que a energia nuclear permitiria a propulsão naval e a produção de explosivos. Logo em seguida, sob a rubrica "específicos", havia uma referência ao "Projeto Solimões", a ser administrado pelo Ministério da Aeronáutica. O "Projeto Solimões" deveria cuidar dos explosivos nucleares.

A Comissão Nacional de Energia Nuclear deveria tocar o "Projeto Celeste". Ela cuidaria do "reprocessamento de combustível para a produção de plutônio".

O Programa Nuclear Paralelo começou a se tornar público em 1986, quando uma reportagem do jornal Folha de S. Paulo revelou a existência de cisternas e covas na serra do Cachimbo, uma delas com 320 metros de profundidade, para a realização de testes nucleares. Nas investigações do Ministério Público e do Congresso que se seguiram à denúncia, descobriu-se a existência de contas bancárias secretas que eram conhecidas dentro do Programa Nuclear Paralelo pelo nome de Delta. Rex Nazaré Alves, na época no meio de sua gestão na presidência da Cnen, foi apontado como um dos responsáveis pelas movimentações dessas contas.

O que ainda não se tornou público é o fato de o grupo que tramou a inclusão do Brasil na corrida nuclear não estar tão afastado do poder como era de esperar. Rex Nazaré Alves, que ficou conhecido como "o pai da bomba atômica brasileira", é consultor do Gabinete de Segurança Institucional (GSI) da Presidência da República e foi escalado pelo governo de Luiz Inácio Lula da Silva para ser o representante da sociedade no mais importante colegiado da política nuclear brasileira, no qual são definidos programas, normas e concessões para instalações nucleares no país.

Nazaré Alves tem uma longa trajetória na área nuclear. Em 1969, depois de fazer um curso de doutorado na França, se tornou chefe do Laboratório de Dosimetria da Comissão Nacional de Energia Nuclear (Cnen). Sua ascensão continuou durante o regime militar. Foi nomeado diretor executivo da Área de Segurança Nuclear da Cnen em 1975, e sete anos depois se tornou presidente do órgão.

O regime militar caiu, mas ele permaneceu no cargo durante todo o governo Sarney (1985-1990), só sendo substituído quando Fernando Collor de Mello (1990-1992) chegou ao poder. No final do governo de Fernando Henrique Cardoso (1995-2002), virou diretor do Departamento de Tecnologia da Abin. Ocupou o cargo até junho de 2003, já no governo Lula, quando passou a assessor especial da direção-geral da Abin, de onde mais tarde sairia para virar consultor do GSI. Uma portaria de 10 de julho de 2003 nomeou Nazaré Alves para a Comissão Deliberativa da Cnen. "Ele é um patriota, um profissional de qualidade, pesquisador dedicado", diz Roberto Amaral, então ministro da Ciência e Tecnologia, que assinou a portaria.

Conforme reportagem publicada no jornal Correio Braziliense (25/09/2005), o ex-ministro Roberto Amaral disse que ao nomear Rex Nazaré Alves para a Comissão Deliberativa desconhecia o envolvimento do escolhido com as contas secretas. “Só estou sabendo disso agora”, afirmou Amaral. Alves, que também é professor do Instituto Militar de Engenharia, no Rio de Janeiro, não quer falar sobre o Programa Nuclear Paralelo nem sobre as acusações de ligação com contas secretas e roubo de documentos. “Aquilo que eu tinha que fazer, eu fiz na época em que tinha funções na Cnen”, afirma. “Havia assuntos sigilosos, e há uma lei que protege esse tipo de assunto.”

A Cnen é o órgão responsável pela fiscalização e produção nuclear no país. A Comissão Deliberativa tem o poder de aprovar ou rejeitar decisões da Cnen e cuida dos investimentos do Fundo Nacional de Energia Nuclear. O colegiado é composto por cinco membros, dos quais quatro são da própria Cnen e um pode ser de fora, o que dá a essa vaga a característica que dentro da área nuclear é definida como de representante da sociedade. É uma função importante, já que é o único olhar externo à Cnen.

O órgão é subordinado ao Ministério da Ciência e Tecnologia e cuida de instalações que vão desde aparelhos de clínicas de tratamento de câncer até as usinas de Angra 1 e Angra 2. A relação entre as funções produtivas e fiscalizatórias é tão forte que a Cnen é oficialmente proprietária das Indústrias Nucleares do Brasil (INB), que faz a exploração de urânio em Caetité, produz pastilhas de combustível para as duas usinas nucleares e está começando o processo de enriquecimento de urânio em Resende (RJ). O presidente da Cnen é também presidente do conselho de administração da INB. Na teoria, a Cnen fiscaliza uma empresa subordinada a ela. Na prática, a situação ainda é mais grave, porque a INB, com orçamento próprio e maior poder econômico, tem força de influenciar nas decisões da Cnen.

O atual presidente da Cnen, Odair Dias Gonçalves, que integrou o grupo responsável pela transição para o atual governo, diz que há um consenso hoje sobre a necessidade de separar as áreas de fiscalização e controle da parte de produção nuclear. Só acha que não há pressa. “Existe um risco de separar tudo de maneira intempestiva”, afirma. O adjetivo soa estranho para uma discussão que se arrasta por 20 anos. O deputado Edson Duarte (PV-BA), que coordena na Câmara uma equipe responsável por propor mudanças na política nuclear, discorda de Gonçalves e prepara um projeto de lei para separar as funções da Cnen. “A área nuclear concentra atividades nas quais não pode haver erro”, afirma. “Não é ético a Cnen se autofiscalizar.”

Outro problema grave que se arrasta há décadas na Cnen é a falta de poder efetivo de coerção dos fiscais do órgão. Seus fiscais não podem mandar fechar uma instalação nuclear. Se limitam a fazer relatórios que podem ou não

ser seguidos pela presidência da instituição. “A área nuclear é um sistema complexo e achamos que a autonomia de controle deve ser compartilhada”, justifica Odair Gonçalves.

O que ele chama de compartilhamento tem feito a direção da Cnen desrespeitar avaliações técnicas de seus especialistas. À revelia de seus fiscais, por exemplo, a Cnen autorizou a produção de pastilhas de urânio em Resende sem avaliar o risco de reação em cadeia do minério. Um risco mal avaliado pode produzir uma explosão. Nos últimos anos, a Associação dos Fiscais da Cnen, que reúne engenheiros, biólogos, físicos e outros especialistas, entregou a autoridades do governo, incluindo os presidentes Fernando Henrique e Lula, relatórios alertando para o perigo que representam à sociedade os problemas estruturais da Cnen. A entidade também preparou o esboço de um projeto de lei criando o Sistema Federal de Fiscalização, que daria poder coercitivo aos técnicos. “Resta saber até que ponto os interesses ditos como de soberania e defesa nacionais continuarão se sobrepondo aos da segurança da população”, diz o físico Rogério Gomes, presidente da associação.

### **5.1. O submarino nuclear**

Por seu turno, em 1979, iniciou-se uma outra parte do Programa Nuclear Paralelo, desenvolvido pela Marinha e apoiado pelo Ipen/Cnen-SP (antigo IEA) com o objetivo de desenvolver um submarino nuclear.

Neste ano, foi implantado o assim denominado Complexo de Aramar, com o pseudônimo de “*Estação de Ensaios de Equipamentos a Vapor*” dispendo de farta alocação de recursos financeiros, através de contas “deltas” (conta secreta na filial de Luxemburgo do Banco di Roma, com um saldo de US\$ 700 milhões, e outra no Banco do Brasil) e aproveitamento de recursos humanos e tecnológicos (IPEN-SP).

Em realidade, de 1976 a 1978 amadureceu na Marinha a idéia de que o Brasil deveria se preparar para construir um submarino com propulsão nuclear, importante instrumento naval de dissuasão e defesa. Admitiu-se que seria indispensável a tecnologia própria, porque nenhuma grande potência a transferiria (Estados Unidos, Rússia, França, Reino Unido e China). Avaliado o cenário tecnológico nacional, a Marinha juntou-se ao IPEN - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (que dispunha de técnicos à margem do acordo com a Alemanha) no desenvolvimento do ciclo do combustível e do reator, por meio da recém criada Coordenadoria de Projetos Especiais-COPESP, tendo sido adotada a ultracentrifugação para o enriquecimento. O projeto das ultracentrífugas especificamente começou a ser pensado em 1978 e iniciado de fato a partir de 1980.

Em 1982 a Marinha assinou contrato com o Consórcio Alemão IKL/HDW/Ferrostaal dando início ao Programa

de Construção de Submarinos, que deverá culminar com o lançamento entre 2015/2020 do SNA (submarino nuclear de ataque) brasileiro. O Contrato inicial previa a construção de 4 submarinos IKL1.400 (Série Tupi, pequenos, de 1.500 toneladas de deslocamento dentro da água) e as instalações para construção de submarinos no Arsenal de Marinha. Este programa chegou ao seu final com o lançamento do submarino Tapajó (S-33), que custou US\$200 milhões. Portanto, os 04 Tupis custaram cerca de US\$ 800 milhões. Estima-se que o programa total custou pelo menos US\$ 1 bilhão

A segunda parte do Programa envolve a capacidade de projetar um submarino convencional derivado do projeto IKL original, que atualmente encontra-se em construção, utilizando o casco resistente do Tikuna (S-34). Esse submarino é um "Improved Tupi", uma classe intermediária entre os "Tupi" e a futura classe de submarinos brasileiros ou SNAC-I (atualmente SMB-10). O projeto do Tikuna é da Diretoria de Engenharia Naval, com auxílio técnico da HDW alemã. Em seguida a Marinha deverá construir um ou dois SMB-10, um submarino convencional com um deslocamento carregado de 2.500 toneladas, com casco de pressão duplo com 08 metros de diâmetro e 67 metros de comprimento. Será na verdade a bancada de testes para o SNA (Submarino Nuclear de Ataque). Já de projeto inteiramente nacional, espera-se que os sensores e o CIC/COC (centro de operações de combate) sejam também nacionais, provavelmente uma versão do Siconta instalados nas Fragatas Niteróis e na Corveta Barroso.

Considera-se como a grande vantagem do submarino nuclear, a sua capacidade de poder permanecer submerso por tempo indefinido. Na sua proposta, os alemães não ofereceram a tecnologia de um submarino nuclear -que eles não dominam até por razões políticas. Mas ofereceram um convencional com uma peça de nome AIP, que permite iniciar o processo de hidrólise, separando oxigênio e hidrogênio e permitindo 30 dias debaixo da água.

O submarino alemão tem a vantagem do preço. O modelo atual é o U-214. Para baratear, foi oferecido o modelo U-209 melhorado, a um custo de US\$ 240 milhões. Já os franceses oferecem um submarino convencional, mas derivado do nuclear, a um custo de US\$ 360 milhões. Mas permitirá absorção de tecnologia para o submarino nuclear. A razão para a França oferecer tecnologia para um futuro competidor é a necessidade de escala para sobreviver.

Para projetar e desenvolver a instalação propulsora do submarino nacional de propulsão nuclear, a Marinha, através do CTMSP, necessitava vencer etapas bem definidas de desenvolvimento tecnológico: o enriquecimento isotópico de urânio (de modo a garantir o domínio tecnológico de todo o ciclo de combustível nuclear); e o projeto, desenvolvimento e construção, em terra, de uma instalação protótipo de propulsão nuclear, denominada Instalação Nuclear a Água Pressurizada (INAP). Está previsto o desenvolvimento de uma instalação protótipo de propulsão nuclear, com um reator a água pressurizada (PWR) de 11 megawatts-elétricos, a ser construída no Centro Experimental ARAMAR-CEA,

constituindo-se na primeira instalação nuclear de potência projetada no País. Em uma primeira fase do Projeto da INAP, estão sendo fabricados o reator e seus internos, além de testados os equipamentos propulsores, turbinas e geradores.

De acordo com o Centro Tecnológico da Marinha, desde que o submarino começou a ser projetado, em 1979, já foram investidos cerca de US\$ 950 milhões. Outros R\$ 750 milhões estão previstos até a conclusão, totalizando aproximadamente US\$ 1,4 bilhão. A última previsão para conclusão do programa é 2025. O projeto tem sido desenvolvido em parceria com entidades como IPEN (Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares), USP, UNICAMP, IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo) e Centro Aeroespacial.

## 6. À GUIA DE CONCLUSÃO

---

As possibilidades de desenvolvimento das atividades nucleares no país encontram, nos dias de hoje, um quadro extremamente controverso e submerso em incertezas de diversas ordens.

O uso pacífico da energia nuclear é preconizado como único objetivo para fundamentar os planos de construção de novos reatores para geração de eletricidade. Os custos de investimento envolvidos são extraordinariamente altos, em comparação com as outras alternativas energéticas. Ao se acrescentarem os custos de operação e manutenção, e os custos para os futuros descomissionamentos das unidades geradoras tornam o custo da geração nuclear absolutamente proibitivos.

Especificamente para o caso da conclusão de Angra III, os recursos necessários atualmente estimados em cerca de US\$ 1,8 bilhão, poderiam ser direcionados para a construção de um conjunto de termelétricas a gás natural com potência total de 2.000 MW num prazo de três anos, em contraposição aos seis anos que seriam necessários para a conclusão de Angra III, cuja potência seria menor, da ordem de 1.300 MW. Ou ainda, com estes recursos se poderia construir usinas hidrelétricas com potência total de 2.200 MW, num prazo análogo ao da usina nuclear. Tal alternativa poderia ser considerada na perspectiva dos problemas sociais e ambientais, inerentes à hidroeletricidade, serem devidamente contemplados.

Considerando ainda que a concepção de Angra III é a mesma de Angra II, não seria de todo inverossímil que os equipamentos já adquiridos fossem utilizados como “back-up” para assegurar a operação de Angra II em condições mais adequadas, e não dependente da disponibilidade de equipamentos no mercado internacional para

troca e manutenção, cujas atuais dificuldades de obtenção são decorrentes da longevidade da tecnologia empregada.

Estas considerações, que se restringem aos aspectos econômicos da questão, tomam maior corpo quando, à elas, são acrescentadas as questões de ordem ambiental e de segurança. A disposição final dos resíduos de alta radioatividade permanece uma incógnita e os programas de emergência na eventualidade de acidente continuam apresentando inúmeras deficiências.

Por seu turno, as atividades relacionadas com o enriquecimento do combustível, que foram objeto de uma grande controvérsia envolvendo a própria AIEA, carregam a complexidade da questão, que tem como contra-ponto o atual debate internacional em torno da presença destas mesmas atividades em países como o Irã. O esforço tecnológico no enriquecimento empreendido pela Brasil, que como vimos, envolveu também o programa do submarino nuclear, não deve ficar circunscrito às necessidades de se garantir um “mercado” para o urânio enriquecido, que seria assegurado por um plano nacional de energia nuclear onde estariam incluídas um sem-número de usinas.

Em conclusão, sob o ponto de vista energético, podemos afirmar que a energia nuclear para a produção de eletricidade é absolutamente dispensável para o Brasil. No que se refere às suas aplicações médicas e industriais, ela apresenta uma relativa utilidade que pode ser assegurada pelos reatores nucleares de pesquisa de baixa potência.

### Referências bibliográficas

**Greenpeace** – Campanha Nuclear: Energia Nuclear no Brasil – disponível no sítio <http://www.greenpeace.org.br/nuclear>

Jornal **Correio Brasiliense**, 25/09/2005.

**Malheiros, T.** – Histórias secretas do Brasil nuclear. Rio de Janeiro, Ed. WVA, 1996.

**Rosa, L.P; Sigaud, L.; Mielnik O.** (coord.) – Impactos de grandes projetos hidrelétricos e nucleares. São Paulo, Ed. Marco Zero/AIE-COPPE/CNPq, 1988.

**SBPC/Labjor** – Energia Nuclear: custos de uma alternativa, 2000 – disponível no sítio <http://www.comciencia.br/reportagens/nuclear/nuclear01.htm>