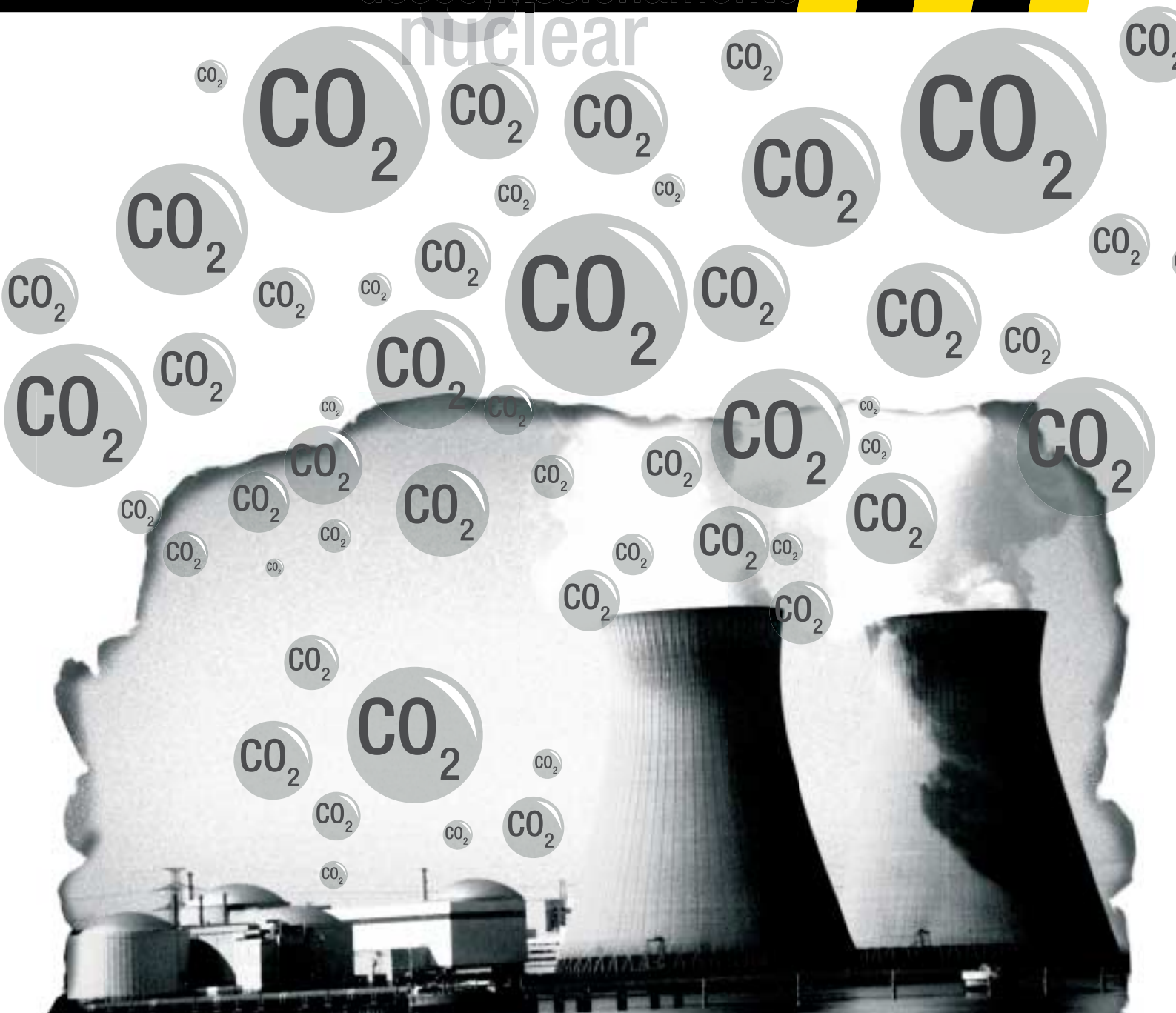


Cortina de fumaça

AS EMISSÕES DE GASES ESTUFA
E OUTROS IMPACTOS DA ENERGIA NUCLEAR



EXPEDIENTE

Associação Civil Greenpeace

Conselho Diretor

presidente
conselheiros

Marcelo Sodré
Eduardo M. Ehlers
Marcelo Takaoka
Pedro Leitão
Raquel Biderman Furriela
Samyra Crespo
Frank Guggenheim
Marcelo Furtado

diretor executivo
diretor de campanhas
diretor de campanha
da amazônia
diretora de comunicação
diretora de marketing e
captação de recursos
diretor de
políticas públicas

Paulo Adário
Gladis Éboli

Clélia Maury

Sérgio Leitão

Cortina de Fumaça

Autor
Edição
Colaborador
Revisão Técnica
Revisão
Edição de fotos
Projeto gráfico e ilustrações
Impressão
Tiragem

Ricardo Baitelo
Rebeca Lerer
Luis Piva
Marcelo Furtado e Oswaldo Lucon
Danielle Bambace
Caroline Donatti
Gabi Juns
Visão Gráfica e Editora
1.000 exemplares

Descomissionamento
usina
efeito estufa
resíduos
feito estufa nuclear
aquecimento global
CO₂
energia

Índice

2	Introdução
4	1 A energia nuclear e o aquecimento global
6	2 Ciclo da energia nuclear
6	2.1 Fabricação do combustível
7	2.2 Geração de energia elétrica
8	2.3 Gerenciamento de resíduos
8	2.4 Descomissionamento
9	3 Consumo de energia
9	3.1 Etapas
10	3.2 Análise do ciclo de vida
11	4 Emissões de gases estufa da cadeia nuclear
11	4.1 Resultados de estudos
12	4.2 Caso nacional: Angra 3
13	5 Outros impactos da energia nuclear
15	5.1 Impactos da mineração de urânio
16	5.2 Lixo nuclear
16	5.3 Acidentes nucleares
17	5.4 Insegurança nuclear no Brasil
18	6 As verdadeiras soluções: eficiência energética e energias renováveis
19	Conclusão
22	Anexo técnico

Introdução

A construção da usina nuclear Angra 3 foi recomendada pelo CNPE – Conselho Nacional de Política Energética no dia 25 de junho de 2007. Para justificar esta opção tecnológica cara e poluente, o governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva pegou carona na forte estratégia de marketing que a indústria nuclear vem adotando no Brasil e no mundo nos últimos anos.

O setor nuclear está se aproveitando da discussão sobre o aquecimento global para apresentar-se como solução energética e reverter o declínio vivido nas últimas décadas. Como reatores nucleares não emitem gás carbônico (CO₂), o principal dos gases do efeito estufa, os defensores desta energia tentam convencer a sociedade de que a energia nuclear é limpa e segura e apagar um passado recente marcado por tragédias como Chernobyl e o acidente com o cézio-137. Para implementar esta estratégia de marketing, a indústria nuclear contratou até lobistas profissionais vestidos de ambientalistas.

Esta cortina de fumaça criada para minimizar os reais impactos da energia nuclear é, porém, esvaziada ao considerarmos o tempo e o custo de construção de usinas nucleares e o ciclo de vida desta energia – que começa com a mineração do urânio e termina no descomissionamento das usinas. Combinando estes dois fatores, constata-se que a energia nuclear não é uma resposta tecnológica, econômica ou ambiental para mitigar o aquecimento global.

Esta conclusão é fundamentada por diversos estudos técnicos ao redor do mundo. O Massachusetts Institute of Technology publicou em 2005 o cenário “The future of nuclear power”, que mostra a baixa efetividade da geração nuclear para a contribuição à redução de gases de efeito estufa. Já o Oxford Research Group afirma que, para reduzir as emissões em 50%, seria necessária a construção de até 2.500 reatores

nucleares de 1.000 MW de capacidade cada. Isso equivale a colocar em operação três novos reatores nucleares por mês durante os próximos 70 anos, o que é inviável do ponto de vista técnico e econômico, além de ampliar os riscos de acidentes e proliferação de armas nucleares. Uma grande expansão do parque nuclear mundial também agravaria a questão do lixo atômico, um problema ainda sem solução definitiva. A cada ano, são acumulados 12 mil toneladas de rejeitos radioativos de alta atividade no mundo.

O relatório “Joint fact-finding on nuclear power”, do Keystone Center, endossado pelo Nuclear Energy Institute, projeta que apenas 53 usinas nucleares serão construídas até 2056. Estas novas usinas não chegariam sequer a compensar o número de usinas que deverão ser aposentadas no mesmo período.

O fenômeno do efeito estufa é global e as emissões de CO₂ contribuem com o problema independentemente de sua origem. Desta forma, a contabilização das emissões de CO₂ deve ser considerada em cada parte da cadeia energética, desde a obtenção de energia primária até a produção de energia final. As emissões de gases estufa e outros impactos ambientais ocorrem nas diferentes etapas da cadeia de acordo com as características da fonte energética e da tecnologia empregada.

A energia nuclear, por depender da extração e tratamento do urânio utilizado como combustível nos reatores, acaba provocando emissões indiretas de gases de efeito estufa, ou emissões não diretamente relacionadas à geração de energia nas usinas. Além do fluxo direto de energia, devem-se incluir nesta equação: (i) os materiais utilizados na construção das usinas e instalações; (ii) a mineração e o enriquecimento do urânio; (iii) a disposição final adequada dos resíduos no longo prazo e; (iv) a desativação da usina e o descomissionamento das minas. A combinação

entre energia e os respectivos materiais empregados na construção dessas plantas geram o chamado ciclo de vida.

A análise do ciclo de vida inclui a contabilização de impactos ambientais na operação de processos, impactos indiretos de processos auxiliares (como transporte) e impactos indiretos decorrentes dos materiais de construção empregados. Ao considerar-se o ciclo de vida da energia nuclear conclui-se que esta forma de geração de energia emite sim gases de efeito estufa.

No caso da usina nuclear Angra 3, não bastasse a ausência de debate com a sociedade, representantes do governo usam dados falsos como a importância de Angra 3 para evitar o risco de racionamento energético (apagão) nos próximos 3 anos, os supostos baixos impactos ambientais do empreendimento e, principalmente, a contribuição da usina no combate às mudanças climáticas.

Em novembro de 2007, o Greenpeace impetrou medidas legais na Justiça Federal acusando a construção de Angra 3 de ilegal e inconstitucional. A organização move ação civil pública contra a União, a Eletronuclear, o IBAMA e a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro (FEEMA). Em Brasília, o Greenpeace, em conjunto com o Partido Verde, impetrou mandado de segurança na Justiça Federal contra a resolução número 3 do Conselho Nacional de Política Energética (CNPE), que em agosto de 2007 determinou a construção da usina nuclear. Uma terceira medida judicial foi iniciada pelo deputado federal Edson Duarte (PV/BA), com assessoria técnica do Greenpeace. Ele apresentou Representação perante o Tribunal de Contas da União (TCU) que questiona a validade do contrato para construção de Angra 3, firmado com a empresa Andrade Gutierrez em 1983.

Os advogados do Greenpeace basearam sua argumentação em parecer

© Greenpeace/Veronika Leitinger



Usina nuclear Bohunice na antiga Tchecoslováquia. Na contramão da tendência mundial, o Brasil decide construir uma nova usina nuclear.

escrito pelo jurista e professor José Afonso da Silva. Elaborado a pedido da organização ambientalista, o parecer aponta graves ilegalidades e inconstitucionalidades no processo de construção da usina nuclear Angra 3 pelo governo federal. Em primeiro lugar, a construção de uma usina nuclear no Brasil depende de ato do executivo que a autorize. No caso de Angra 3, este ato do executivo é o decreto 75.870, de 1975, editado pelo então presidente militar Ernesto Geisel. Porém, o Greenpeace descobriu que tal decreto encontra-se revogado por outro decreto, s/número, de 15 de fevereiro de 1991 (DOU de 18 de fevereiro de 1991, Seção 1, página 3056), editado pelo então presidente Fernando Collor de Mello. Ou seja, inexistente ato do executivo que autorize a construção de Angra 3, e desta forma, a resolução 3 do CNPE também é ilegal - já que uma resolução depende de ato do poder executivo para ser legítima.

As ações apontam outro fato grave: conforme explicitamente disposto nos

artigos 21, 49 e 225 da Constituição Federal, a construção de usinas nucleares como Angra 3 deve passar, obrigatoriamente, pela discussão e aprovação do Congresso Nacional. Isto não ocorreu no caso de Angra 3, já que o governo federal autorizou a retomada da usina via a resolução de número 3 do CNPE publicada no DOU no dia 07 de agosto de 2007. Vale lembrar que o CNPE é um órgão consultivo da presidência da República formado por nove ministros federais e por três representantes - Estados, sociedade civil e universidades, não representando o parlamento brasileiro. Ou seja, ainda que existisse um ato válido do executivo autorizando Angra 3, a construção da usina nuclear deveria ser discutida e aprovada pelo Congresso Nacional.

Não bastasse a ilegalidade que marca o processo de construção da usina, Angra 3 também não contribui para garantir a segurança energética do país. Caso sua construção fosse retomada em 2008, a usina só ficaria

pronta em 2014 e acrescentaria apenas 1.350 MW ao sistema elétrico nacional. Ou seja, Angra 3 não contribui de forma significativa em um possível cenário de racionamento. Trata-se ainda da opção energética mais cara: com os R\$ 7,2 bilhões estimados para a finalização de Angra 3, sem contar o que já foi gasto em equipamentos e manutenção, seria possível construir um parque eólico com o dobro da capacidade de Angra 3 (1.350 MW) em um prazo de dois anos, sem gerar lixo radioativo, emitir gases estufa e sem o risco de acidentes. No quesito orçamento, vale lembrar que, historicamente, a construção de usinas nucleares em diversos países chegou a ultrapassar em até 50% os valores previstos originalmente nos projetos.

Um outro bom caso de comparação é o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), do governo federal. Com investimentos de apenas R\$ 850 milhões (ou 12% de R\$ 7 bilhões), o Procel economizou 5.124 MW, o que corresponde a cerca de quatro

vezes a capacidade de Angra 3.

A afirmação que Angra 3 vai contribuir para mitigar o aquecimento global também é incorreta. Em primeiro lugar, no Brasil, cerca de 75% das emissões de gases estufa ocorrem por conta do desmatamento e do uso do solo – especialmente em função da expansão agropecuária na região amazônica. Assim, se o governo federal deseja, efetivamente, reduzir a participação brasileira no problema do aquecimento global, deve priorizar o controle do desmatamento e frear a expansão de termelétricas a carvão e a óleo na matriz elétrica nacional.

As metas de expansão termelétrica do Plano Decenal de Expansão (PDE) vão contra todos os esforços mundiais de combate às mudanças climáticas perigosas e as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa. O plano prevê o aumento da capacidade de geração

termelétrica dos atuais 15 mil MW para 28 mil MW em 2016. Deste total, apenas 3 mil MW seriam provenientes de biomassa; o restante seria gerado a partir de fontes fósseis. Como resultado desta ampliação, as emissões equivalentes de CO₂ devem subir, segundo os cálculos do plano, de 19 para 44 milhões de toneladas nos próximos dez anos.

Este artigo detalha o ciclo de vida de Angra 3 e estima que o valor final de emissões equivalentes de CO₂ da usina são de 150 gCO₂/kWh. Vale ressaltar que as emissões resultantes são superiores às emissões de ciclo de vida de energias renováveis como a solar e principalmente a eólica.

Outro problema é que os investimentos na tecnologia nuclear retardam o desenvolvimento de tecnologias limpas. Uma série de entraves às energias renováveis contempladas no Proinfa (Programa de Incentivo a

Fontes Alternativas de Energia Elétrica) ainda devem ser resolvidos. Um deles é a definição, que cabe à Aneel (Agência Nacional de Energia Elétrica) sobre quem deve pagar os custos de transmissão e distribuição de eletricidade gerada por autoprodutores dentro do programa.

Ao optar pela energia nuclear, o governo do presidente Luiz Inácio Lula da Silva ignora o histórico nacional de insegurança nuclear, o abandono das vítimas de acidentes radioativos, os altos custos e os graves impactos sócio-ambientais desta fonte energética. Este artigo desmistifica a cortina de fumaça que se formou para defender o bilionário e arriscado projeto de construção da usina nuclear Angra 3, em especial a ineficácia desta fonte energética na redução de emissões de gases de efeito estufa, além de detalhar seus outros impactos ambientais.

A energia nuclear e o aquecimento global

1

O combate às mudanças climáticas passa, necessariamente, pela implementação de uma Política Nacional de Mudanças Climáticas com metas concretas de redução das emissões equivalentes de carbono e garantia de sustentabilidade ambiental. Enquanto o governo brasileiro hesita em assumir compromissos, a China, apesar de sua alta demanda energética e matriz ainda dependente de recursos fósseis, já anunciou seu plano de medidas de mitigação de emissões de gases de efeito estufa.

Sabe-se que, no Brasil, a maior parte da emissão de gases ocorre por conta do desmatamento da Amazônia. Portanto, a redução de emissões deveria

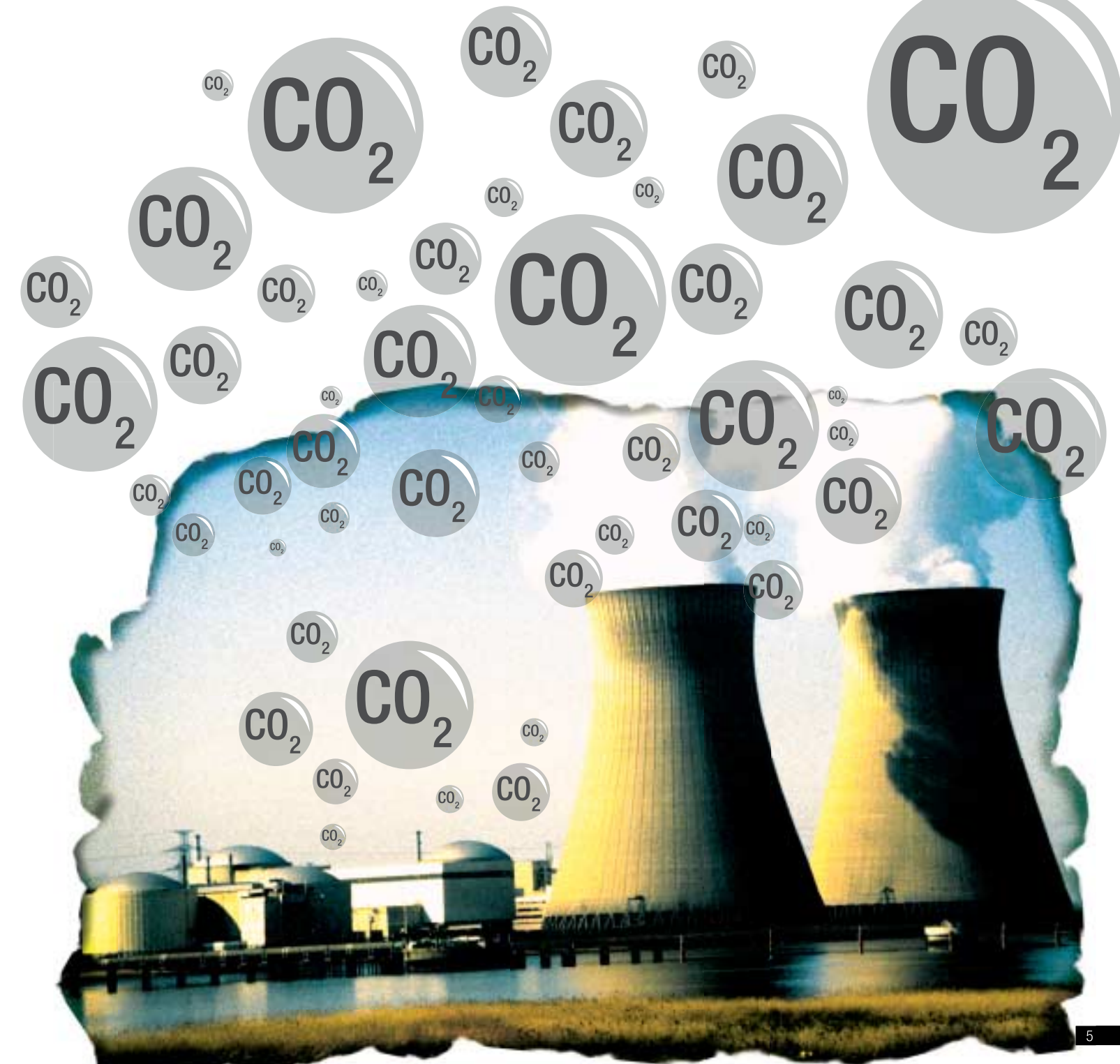
priorizar o controle deste desmatamento, conforme afirma José Goldemberg, do Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo. Além das emissões relacionadas à questão florestal e ao uso da terra, o governo brasileiro deveria preocupar-se em reverter a tendência de “sujar” a matriz elétrica nacional que vem se consolidando nos últimos anos. O Brasil, que sempre se orgulhou de sua geração hídrica, está aumentando sua dependência de termelétricas movidas a combustíveis fósseis, indo na contramão do desenvolvimento sustentável.

Se a energia nuclear fosse realmente capaz de desempenhar um papel preponderante na redução de

emissões de dióxido de carbono, esta geração deveria atender, no mínimo, ao aumento previsto do consumo de combustíveis fósseis nos próximos anos. Isto implicaria uma escala de construção de usinas sem precedentes. Mesmo estudos otimistas como o “The future of nuclear power”, (Massachusetts Institute of Technology, 2005) estimam que a construção de mil reatores de 1.000 MW de potência cada contribuiria com uma redução inferior a 10% nas emissões globais de CO₂ do setor energético. Diante da necessidade de acelerar a redução de emissões antes de 2015, a energia nuclear é uma medida extremamente ineficaz.

impactos ambientais
efeito estufa
resíduos nucleares
aquecimento global
energia nuclear
descomissionamento

A energia nuclear não contribui para reduzir as emissões de gases de efeito estufa.



Ciclo da energia nuclear



O ciclo da energia nuclear compreende as seguintes etapas principais: transformação do minério de urânio em combustível, operação da usina nuclear para a produção de energia, gerenciamento de resíduos radioativos e descomissionamento da usina após sua vida útil. O ciclo do combustível nuclear é dividido nas etapas de mineração, conversão de concentrado de urânio em yellowcake, fabricação de pastilhas de dióxido de urânio e fabricação de elementos combustíveis, utilizados na geração de energia.

2.1 Fabricação do combustível

O Brasil possui a sexta maior reserva de urânio do mundo, com um total de 309 mil toneladas de minério de urânio (U_3O_8)¹, com apenas 25% do território nacional prospectado. Acredita-se que o potencial total não confirmado poderia colocar o país como a segunda maior reserva do mundo. Boa parte das reservas nacionais do minério encontra-se na região amazônica. Sua exploração acarretaria impactos à floresta, à biodiversidade e ao equilíbrio climático do planeta.

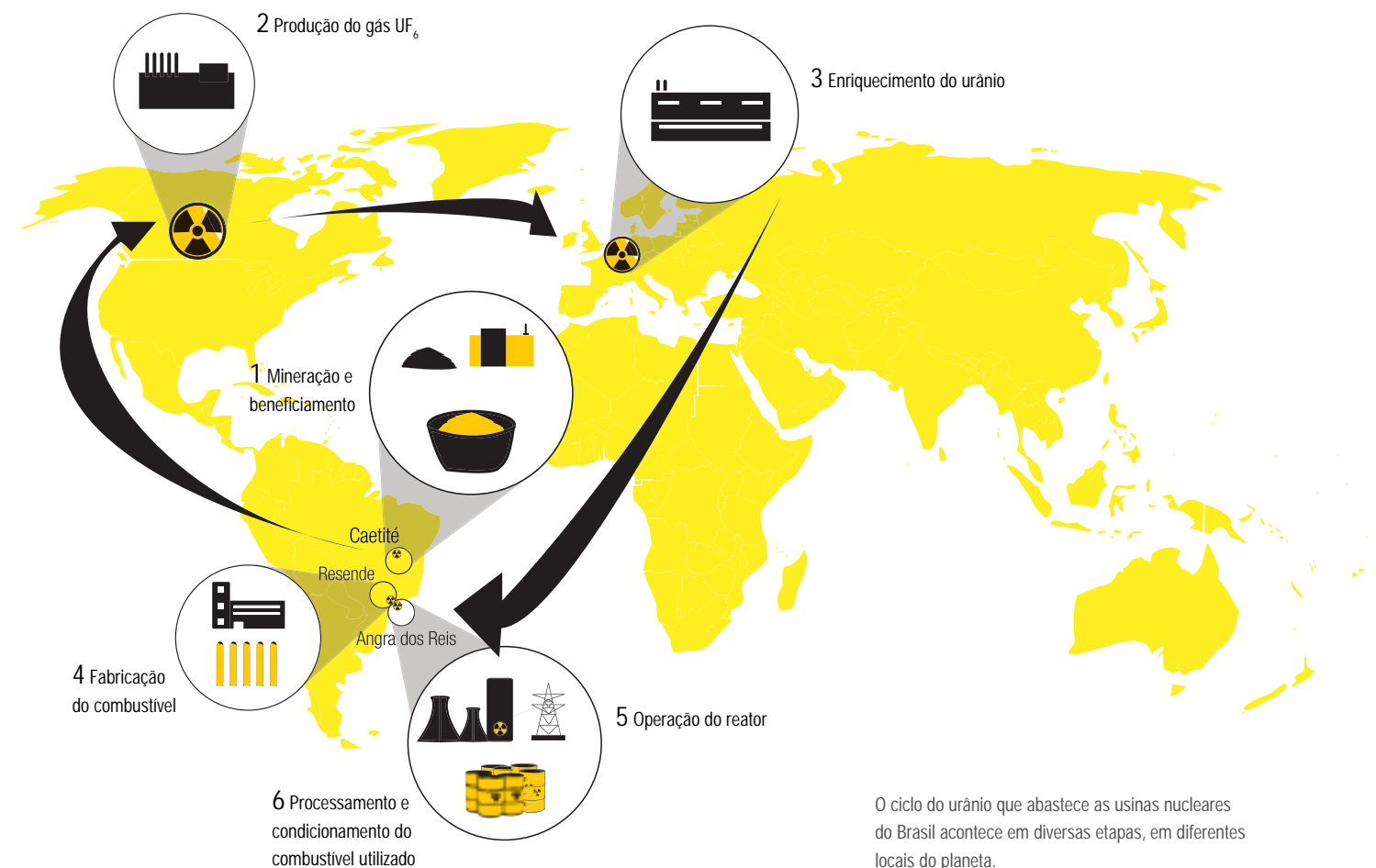
Hoje, no Brasil, o urânio é extraído em Caetité e Lagoa Real, na Bahia, e começará a ser explorado em Itaitia, no Ceará. Em seguida, ocorre o beneficiamento: o urânio é extraído do minério, purificado e concentrado sob a forma de um sal amarelo, o yellowcake.

O yellowcake é então dissolvido, purificado e convertido no gás hexafluoreto de urânio (UF_6). O UF_6 é enriquecido a fim de aumentar a proporção do isótopo fissil U-235 na composição do urânio U-238. Isto é obtido com o processamento do gás hexafluoreto de urânio (UF_6), aumentando a concentração de U-235 em quase 5 vezes (até 3,3% do urânio).

Atualmente, o urânio extraído no Brasil é enriquecido no Canadá e na Europa. O setor nuclear brasileiro almeja dominar a tecnologia completa do ciclo de enriquecimento de urânio para realizar, em escala industrial, o processo integralmente no país.

Após o enriquecimento, o hexafluoreto de urânio volta ao estado sólido na forma de pó de dióxido de urânio (UO_2). Esta etapa é realizada na Fábrica de Combustível Nuclear² da INB em Resende (RJ). A este pó é adicionado outro composto de urânio (U_3O_8), preparando-o para a fabricação de pastilhas de urânio. As pastilhas de dióxido de urânio são produzidas em uma prensa, a partir da mistura do pó de UO_2 com U_3O_8 .

Por fim, é fabricado o elemento combustível, que consiste em varetas fabricadas em zircaloy, nas quais são acomodadas as pastilhas de dióxido de urânio. O elemento combustível também é produzido em Resende (RJ) e constitui a fonte geradora de energia na usina nuclear, a partir da fissão dos núcleos de átomos de urânio.



O ciclo do urânio que abastece as usinas nucleares do Brasil acontece em diversas etapas, em diferentes locais do planeta.

2.2 Geração de energia elétrica

A produção de energia nuclear acontece no reator, uma câmara de resfriamento hermética e blindada contra a radiação, onde a fissão de núcleos de átomos de urânio é controlada.

A energia produzida na reação nuclear gera calor, que passa por um ciclo termodinâmico convencional; o calor obtido na fissão aquece a água do circuito primário, que aquece a água do circuito secundário. A água do circuito secundário é vaporizada e movimentada pelas pás da hélice de um dinamo, aplicado em um gerador, que converte este movimento em energia elétrica.

Este processo, além de empregar uma grande quantidade de água, é pouco eficiente do ponto de vista

termodinâmico. Muita energia acaba sendo desperdiçada na conversão de energia térmica em eletricidade; as perdas energéticas internas, considerando a eficiência da usina nuclear, são de 68%. Isto significa que, para cada unidade de energia produzida em eletricidade, é necessário gerar 3 unidades de energia em calor³.

A água quente resultante do circuito secundário, junto com um volume de água de proteção, usada para manter os equipamentos em segurança, é despejada no meio ambiente em temperatura pouco mais elevada do que quando foi captada.

O uso da água nas usinas nucleares não se restringe ao ciclo termodinâmico,

já que a água também é usada como elemento moderador. Como os reatores nucleares comerciais usam a fissão produzida por nêutrons lentos, a velocidade do nêutron produzido na fissão precisa ser reduzida, o que é obtido através do uso de um moderador. O hidrogênio é a melhor opção de moderador, daí a utilização da água, que contém hidrogênio em suas moléculas.

O uso da água e do urânio enriquecido originou a tecnologia dos Light Water Reactors (reatores a urânio enriquecido e água); destes, o tipo mais utilizado no mercado mundial é a de reatores de água pressurizada (Pressurized Water Reactors), modelo utilizado em Angra 1 e Angra 2⁴.

1 INB – Indústria Nuclear Brasileira

2 Ciclo do Combustível – Homepage da Eletronuclear, <http://www.eletronuclear.gov.br>

3 "Net energy analysis of nuclear power production" Apêndice do "National plan for energy research, development and demonstration: creating energy choices for the future. Volume I.- The plan". EUA, 1976.

4 "Geração Hidrelétrica, Termelétrica e Nuclear", Rosa, L.P. Estudos Avançados, Vol. 21 número 59 São Paulo, jan./abr. 2007.

2.3 Gerenciamento de resíduos

A exploração de urânio nas minas produz enormes quantidades de resíduos, incluindo partículas radioativas que podem contaminar a água e os alimentos. No processo de enriquecimento de urânio, são gerados 1.000 m³ de lixo de baixo nível radioativo para cada m³ de detritos altamente radioativos. De acordo com o International Nuclear Societies Council, uma planta nuclear típica de reator a água pressurizada (como Angra 3) produz 71% de rejeitos de baixo nível radioativo, 25% de rejeitos de médio nível radioativo e 4%

de rejeitos de alta radioatividade.

Contabilizando rejeitos de outras atividades nucleares, em hospitais e indústrias, a porcentagem de baixo nível radioativo é de 90% do volume total de lixo radiativo e 1% da radioatividade total. Rejeitos de nível médio somam 7% do volume total e 4% da radioatividade total. Rejeitos de baixa radioatividade são constituídos por papel, filtros e roupas que contêm baixas amostragens de radioatividade. Rejeitos de média radioatividade incluem resinas, lixo químico, revestimento

metálico de combustíveis e materiais contaminados do descomissionamento do reator⁵.

De acordo com a Eletronuclear, rejeitos sólidos de baixa e média atividade são armazenados em tambores e cápsulas de aço e guardados por algum tempo dentro das próprias usinas. Na seqüência, são transferidos para um depósito intermediário construído no próprio sítio da Central Nuclear⁶. O tempo de armazenamento é de cerca de 40 anos. Após este período, os rejeitos são considerados convencionais. Todos os países possuem depósitos destinados a esta classe de rejeitos.

Já os de alta radioatividade são os que apresentam os maiores problemas de manuseio, armazenagem e deposição. Produtos da fissão do urânio no reator nuclear, sua alta radioatividade e temperatura demandam resfriamento e blindagem. Os rejeitos de alta radioatividade representam mais de 95% de toda a radioatividade produzida no processo de geração de eletricidade. No complexo Angra, este tipo de rejeito está acondicionado provisoriamente em piscinas no interior das usinas.

Ainda que não existam dados precisos sobre a quantidade de lixo radioativo produzido até hoje, a mineradora australiana Marathon Resources estima a quantidade de rejeitos de alta radioatividade acumulados a cada ano no mundo em 12 mil toneladas⁷. Na maioria dos países, esse lixo é armazenado provisoriamente no interior das usinas.

os elementos contaminados em uma estrutura fechada (como concreto) e o monitoramento é feito até a queda da radioatividade a níveis que permitam a liberação do local.

No caso do complexo nuclear de Angra, pouco se fala ou discute sobre os procedimentos de descomissionamento das usinas. A Eletronuclear afirma que os custos de descomissionamento de Angra 1 e 2, que devem encerrar suas operações em 2014 e 2030, respectivamente, serão cobertos por fundos compatíveis com o faturamento bruto na venda da energia produzida pelas usinas nucleares. Não há menção, contudo, ao método de descomissionamento utilizado.

Monitoramento do nível de radiação de materiais contaminados.



© Greenpeace/Kurt Prinz



Rua principal do vilarejo próximo ao rio Techa, Rússia. A área foi abandonada devido aos altos níveis de resíduos nucleares liberados no rio pelo Complexo Nuclear de Mayak entre 1947 e 1954. O vilarejo nunca foi evacuado, a maioria dos habitantes estão doentes devido à radiação.

2.4 Descomissionamento

Após o encerramento das atividades da usina, ocorre a etapa do descomissionamento. A usina encerra suas operações e a radioatividade residual é eliminada do local de operação da usina, permitindo a liberação da propriedade e do terreno. Este processo pode durar de 10 a 100 anos. De

acordo com a Comissão Regulatória Nuclear Norte-Americana, há três alternativas de descomissionamento: o desmantelamento imediato, o desmantelamento atrasado e o isolamento ou "sepultamento"⁸.

O desmantelamento imediato prevê a remoção, assim que a usina encerra

a operação, de todo o equipamento, estruturas e partes das instalações contaminados com radiação. Já o desmantelamento atrasado monitora a usina e as instalações até o decaimento da radioatividade, período após o qual a estrutura é desmantelada. Já o isolamento ou "sepultamento" encerra

3

Consumo de energia

3.1 Etapas

A geração nuclear não é livre de emissões de CO₂. Se, por um lado, a operação de uma usina nuclear não causa emissões diretas, por outro, a cadeia de energia nuclear consome uma grande quantidade de energia. Esta energia, quando proveniente de fontes fósseis, resulta na emissão de quantidades consideráveis de CO₂.

Em primeiro lugar, o urânio é extraído da terra e transportado com a uti-

lização de combustíveis fósseis. Após estas etapas, ocorre o enriquecimento do urânio, a etapa que mais consome energia na cadeia de produção do combustível nuclear.

Também é consumida uma grande quantidade de energia na construção da usina, que emprega materiais eletrointensivos como aço e concreto. O consumo de energia ocorre para acondicionar e monitorar os resíduos

radioativos e outros materiais rejeitados.

Por fim, deve-se incluir nesta conta a energia consumida no descomissionamento da usina ao final de sua vida útil. Esta etapa inclui as fases de manutenção após o fechamento da usina, limpeza dos componentes antes do desmonte, demolição de componentes radioativos e empacotamento e descarte de resíduos. Não se pode excluir o descomissionamento dos sítios de

5 "Waste management in the nuclear fuel cycle", World Nuclear Association, 2007.

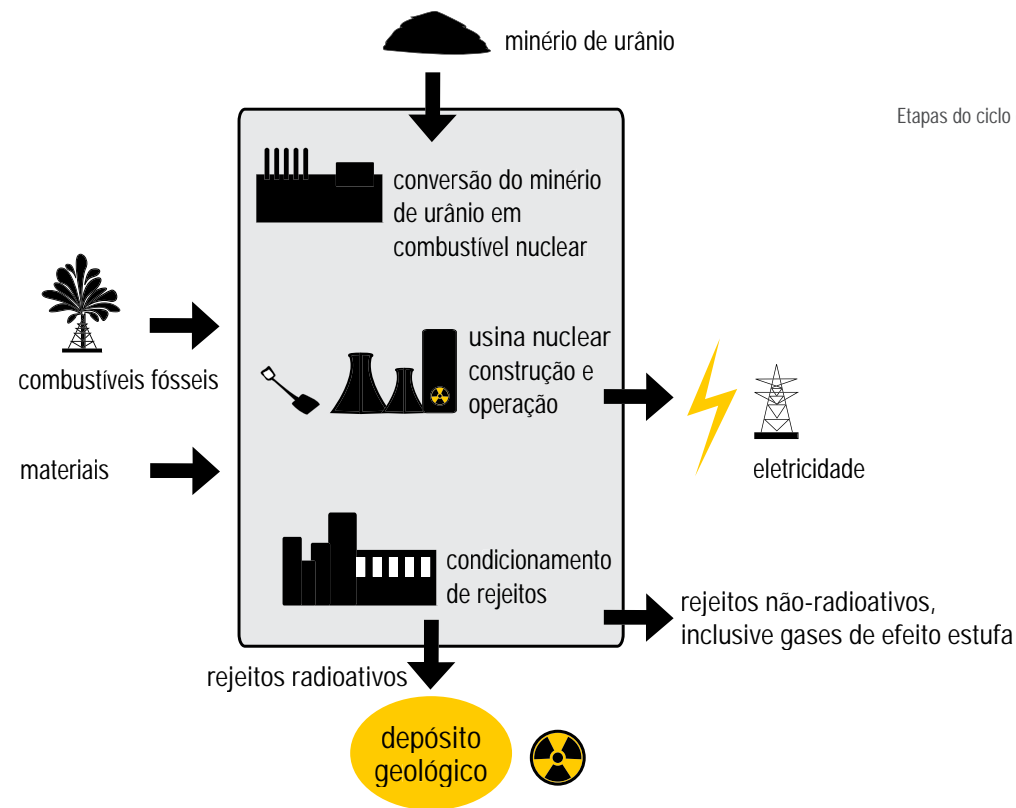
6 "Geração termonuclear", Eletronuclear e Cepel, 2000.

7 Em <http://www.marathonresources.com.au>, 2007.

8 "Fact sheet on decommissioning nuclear power plants" - Comissão Reguladora de Energia Nuclear dos Estados Unidos, 2007.

mineração e sua restauração às condições ambientais originais.

O estudo "Nuclear power - the energy balance" de Storm e Smith contabiliza as emissões de CO₂ em cada uma destas etapas da cadeia de geração nuclear. A metodologia utilizada neste e em outros estudos, assim como os principais resultados obtidos, são analisados nos itens a seguir.



Etapas do ciclo de vida da usina.

3.2 Análise do ciclo de vida

Ao longo do fluxo de energia, emissões e outros impactos ambientais ocorrem em diferentes etapas da cadeia, de acordo com as características da fonte energética e da tecnologia empregada. A energia nuclear, por demandar a extração e tratamento do combustível utilizado na geração, acarreta emissões indiretas, ou emissões não diretamente relacionadas à geração de energia.

A análise do ciclo de vida considera as interações entre todos estes processos. São contabilizados todos os custos energéticos dos materiais utilizados no

enriquecimento de urânio, na construção da usina e no armazenamento de rejeitos e não apenas a eletricidade consumida nestas etapas. Assim, a análise exige a coleta e o processamento de uma ampla gama de dados como a variação geográfica dos processos energéticos, a qualidade do combustível e a logística envolvida, entre outros.

Diversos institutos de pesquisa realizam esse tipo de trabalho, entre eles o Öko-Institut, na Alemanha. O software GEMIS (Modelo de Emissões Globais para Sistemas Integrados) compila e atualiza dados utilizados na

Análise de Ciclo de Vida. No caso da energia nuclear, foram coletados dados sobre as usinas nucleares, materiais utilizados em sua construção e do ciclo do urânio.

Vale comentar que a grande maioria das análises de ciclo de vida realizadas são parciais e não cobrem todos os aspectos da cadeia energética de uma fonte específica. Alguns são demasiadamente localizados e outros, ainda que com dados e informações precisas, pecam por não considerar os gastos energéticos de descomissionamento da mina de urânio ou da usina nuclear.

Emissões de gases estufa da cadeia nuclear

4

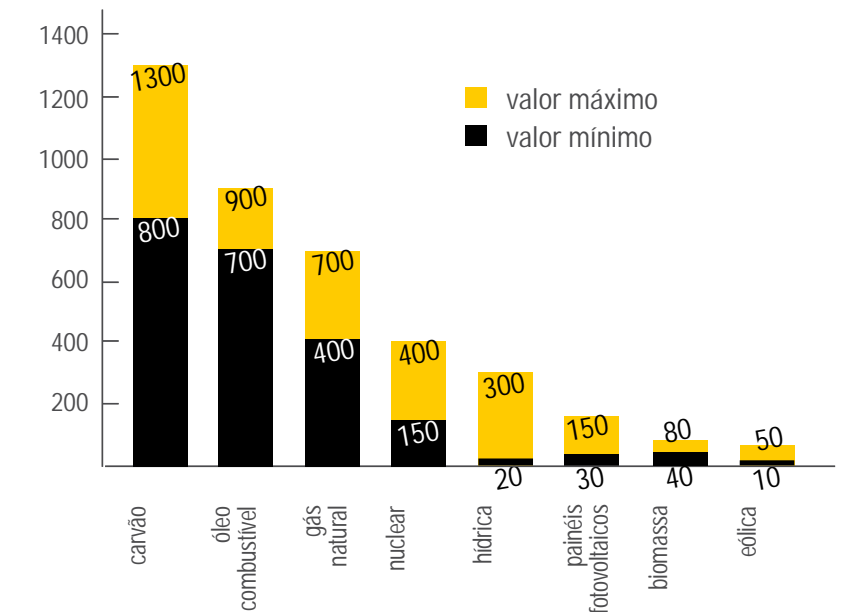
4.1 Resultados de estudos

O modelo GEMIS calculou a emissão de 64g de CO₂ equivalente por kWh de eletricidade gerada nas usinas nucleares da Alemanha, considerando a cadeia nuclear completa de extração do minério, transformação, enriquecimento e construção da usina e de todas as instalações.

Ainda que a World Nuclear Association indique uma escala de emissões entre 6 e 26 g/kWh, outros estudos internacionais demonstram níveis de emissão de CO₂ entre 30 e 60 g/kWh (IEA, 1994; CRIEPI 1995) e 130 g/kWh (ISA, Universidade de Sidney).

Quanto menor a concentração do minério de urânio, mais energia é gasta em seu enriquecimento⁹. Storm e Smith consideram que a exploração futura de minérios de urânio mais pobres (entre 0,1 e 1% de concentração) deverá aumentar o gasto de energia neste processo, na medida em que as reservas de urânio diminuem. O aumento se deve à necessidade de trabalhar mais minério para obter a mesma quantidade do concentrado de óxido de urânio (U₃O₈).

O estudo de Storm e Smith também adota a abordagem de análise de ciclo de vida e considera o uso progressivo de energia para a extração de urânio de acordo com o empobrecimento do minério. Segundo a análise, o custo energético de toda a cadeia nuclear, incluindo a etapa de descomissionamento, é capaz de repercutir em emissões equivalentes de CO₂ superiores à quantidade das emissões de termelétricas a gás, ou 400 gCO₂/kWh, considerando a ex-



Emissões de CO₂ de fontes energéticas durante o ciclo de vida?

ploração futura de minérios pobres em urânio (abaixo de 0,01%).

O estudo de Storm e Smith considerou a análise energética do sistema técnico e industrial envolvido no ciclo do urânio e na geração de eletricidade a partir de um reator a água pressurizada, o mesmo utilizado nas usinas de Angra 2 e 3. Foi considerado um tempo de carga plena de 24 anos para estes reatores, de acordo com estatísticas da indústria nuclear.

⁹ Valores mínimos e máximos obtidos pela média de estudos do Conselho Mundial de Energia, Agência Internacional de Energia Atômica, Öko-Institut, Instituto de Energia Nuclear, Universidade de Sidney, Coppe, 2007. OBS.: Os valores de emissões para energia nuclear consideram a metodologia de Storm e Smith.

¹⁰ Storm e Smith, "Nuclear power - the energy balance", 2007. <http://www.stormsmith.nl>

4.2 Caso nacional: Angra 3

Neste artigo, partimos de valores energéticos utilizados no estudo de Storm e Smith, provenientes de diferentes fontes de pesquisa. Todos os valores foram adaptados para o caso nacional da usina nuclear Angra 3. As emissões estimadas neste estudo admitem uma concentração de 0,25% do minério de urânio extraído na mina de Caetité¹¹, na Bahia.

Em primeiro lugar, o nível médio de emissões de CO₂ no Brasil foi calculado em 250 g/kWh. Apesar da predominância de geração hidrelétrica, a quantidade de emissões é mediana por conta dos quase 10% de participação de geração termelétrica na matriz elétrica nacional.

Este valor base foi obtido a partir das emissões mensais dos submercados nacionais de geração elétrica, calculados pelo MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia) e pelo MME (Ministério de Minas e Energia), e dos registros das usinas despachadas de forma centralizada pelo ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico). É importante mencionar que este índice não inclui as emissões de metano (gás cerca de vinte vezes mais poluente que o CO₂) nos reservatórios das hidrelétricas.

O valor internacional médio de emissões de CO₂ por eletricidade gerada é de 540g CO₂/kWh, ou cerca do dobro da média nacional.

Para um tempo estimado de 40 anos de operação da usina¹² Angra 3, foi considerada uma carga inicial e 45 recargas de combustível ao longo deste período. É válido citar, entretanto, que de acordo com Storm e Smith, apenas 12 reatores de um total de 399 conseguiram operar por mais de 32 anos.

Em seguida, foram identificados os gastos energéticos de cada uma das etapas da cadeia nuclear:

CICLO DO COMBUSTÍVEL

A etapa de mineração e beneficiamento de urânio considera o gasto energético de 11,5 PJ (petajoules)¹³ e a conversão do U₃O₈ para UF₆ utiliza 13,5 PJ. O enriquecimento, uma das etapas de maior gasto energético, demanda 28 PJ. A

etapas da cadeia nuclear	gasto energético (PJ)
ciclo do combustível	58
restauração da área de mineração	28
condicionamento de rejeitos	71,5
obras, operação e infra-estrutura da usina	224
descomissionamento	150

Quantidade de energia gasta em cada etapa da cadeia nuclear.

fabricação do elemento combustível consome 5 PJ.

RESTAURAÇÃO DA ÁREA DE MINERAÇÃO
A restauração da área de mineração, etapa desconsiderada na maior parte das análises energéticas do ciclo nuclear, considera o tratamento dos resíduos da mineração e seu isolamento da biosfera local e o replantio de vegetação nativa na área. O gasto energético total para esta etapa foi calculado em 28 PJ.

CONDICIONAMENTO E DESCARTE PERMANENTE DE REJEITOS

Os gastos referentes ao condicionamento permanente de rejeitos nucleares, realizado em depósito geológico adequado, são levantados para os resíduos de enriquecimento, de elementos combustíveis, da operação da usina e do descomissionamento. O resíduos do enriquecimento, que consideram a reconversão do UF₆ em U₃O₈ e o condicionamento contabilizam 1,2 PJ. O armazenamento, condicionamento e o descarte dos elementos combustíveis utilizados no reator consomem outros 42 PJ. Em relação aos resíduos da operação, o condicionamento de resíduos demanda uma quantidade de energia de 14 PJ. Os resíduos do descomissionamento consomem ainda 13 PJ. Assim, o descarte definitivo de todo o material radioativo do ciclo nuclear em depósito geológico soma o gasto energético total de 71,5 PJ.

OBRAS, OPERAÇÃO e INFRA-ESTRUTURA
Os gastos de construção da usina partem de três abordagens diferentes que estimam os valores de 31, 81 e 132 PJ, respectivamente. Foi considerado o valor intermediário de 81 PJ, para uma usina de 1.000 MW, que, extrapolado para a capacidade de Angra 3, resulta em 100 PJ. Já os custos de operação, manutenção e reformas durante a atividade da planta foram calculados em 2,7 PJ/recarga. Para o tempo total de operação da usina, o gasto energético chega a 124 PJ.

DESCOMISSIONAMENTO

Por último, o descomissionamento da usina requer, de acordo com diferentes estimativas, uma quantidade de energia entre 100 e 220% do valor gasto na construção da planta¹⁴. O tempo de descomissionamento pode levar entre 10 e 100 anos. Foi considerado um tempo médio de 50 anos e um gasto energético de 150% do valor de construção da usina. Assim, o gasto energético é de 150 PJ.

O gasto energético total do ciclo de vida da usina nuclear Angra 3 é levantado, portanto, em aproximadamente 530 PJ¹⁵. Este valor é então convertido para kWh, considerando que uma parte do gasto energético é elétrico e a outra parte é térmica.

A parte elétrica considera a emissão de 250g CO₂/kWh e a parte térmica considera a emissão de queima de óleo

diesel de 810 g CO₂/kWh. Considera-se ainda, que durante as interrupções de Angra 3 por indisponibilidade ou para substituição de combustível, a energia provida ao sistema é considerada de emissão equivalente à média nacional, ou 250 g/kWh.

O valor final de emissões equivalentes de CO₂ de Angra 3 é de 148 g/kWh.

IMPORTANTE: Este valor considera a realização das etapas de conversão de óxido de urânio no gás UF₆ e do enriquecimento no exterior. O urânio beneficiado é transportado do Brasil ao Canadá, onde é transformado em UF₆ e de lá para a Europa (Holanda, Alemanha e Reino Unido), onde é enriquecido. O custo energético de enriquecimento de urânio aumenta o total de emissões, uma vez que esta etapa é uma das de maior consumo de energia no ciclo do urânio e as matrizes elétricas dos países que executam este processo são essencialmente fósseis. O setor nuclear brasileiro ambiciona que, no futuro, o ciclo de enriquecimento de urânio em escala industrial seja realizado inteiramente no Brasil.

5

Outros impactos da energia nuclear

Além de não responder ao desafio do aquecimento global, a energia nuclear apresenta diversas particularidades em relação a outros sistemas energéticos.¹⁶ As principais são o combustível utilizado, a geração de enormes quantidades de resíduos radioativos e a longa duração do ciclo nuclear. Tais características repercutem em altos custos econômicos e graves impactos ambientais. A obtenção, o transporte e o tratamento de urânio, a construção e a operação de reatores e o gerenciamento seguro de resíduos radioativos, incluindo o descomissionamento das usinas, consomem enorme quantidade de matéria-prima, recursos humanos e, principalmente, energia.

Em todas as etapas do ciclo nuclear, há riscos permanentes de acidentes nucleares com consequências devastadoras à população e ao ambiente das áreas afetadas. Ainda que a probabilidade de ocorrência de acidentes seja baixa, a extensão e o impacto dos mesmos são enormes. A herança trágica de Chernobyl e do acidente com

o césio-137, em Goiânia são provas eternas dos perigos da energia nuclear.

O processo de enriquecimento de urânio gera grande quantidade de subprodutos radioativos como o rutênio, o césio e o plutônio. Estes elementos necessitam armazenamento especial e monitoramento por longos períodos de tempo.

O acúmulo de resíduos radioativos gerado a partir de usinas nucleares é outro problema sem solução. O lixo tóxico que vem sendo gerado por Angra 1 e 2 continua sendo armazenado de forma provisória no próprio sítio das usinas. A implantação de Angra 3 aumentará o volume de rejeitos radioativos e agravará esta questão.

Outro impacto ambiental da geração term nuclear é o uso intensivo de água no processo. A água é utilizada tanto como elemento moderador das reações nucleares quanto no circuito de geração de energia. De todas as fontes energéticas, a nuclear é a que mais consome água: um único reator consome entre 35 e 65 milhões de li-

tros de água por dia. Segundo relatório do Parlamento Australiano, as necessidades de água para centrais nucleares são entre 20 e 83% mais altas que para outros tipos de usinas.

Tanto a água quente resultante do circuito secundário do reator quanto a água usada para manter os equipamentos em segurança são despejadas no meio ambiente. As usinas de Angra têm utilizado um grande volume de água da Bahia da Ilha Grande, retirando água do mar e, posteriormente, devolvem a uma temperatura maior do que a da água captada.

Já os custos e o longo tempo de construção de usinas nucleares mostram que este tipo de energia não é solução para a redução imediata de emissão de gases de efeito estufa. Tampouco é solução para garantir segurança energética nos próximos três anos: na melhor das hipóteses, Angra 3 ficaria pronta apenas em 2013 e forneceria ao sistema apenas 1.000 MW médios de energia, quantidade pouco representativa em um cenário de racionamento.

11 Serviço Mundial de Informação Energética– Projeto urânio, 2007.

12 Tempo de operação estimado para as usinas de Angra 1 e 2, de acordo com a Eletronuclear.

13 O joule é a unidade de calor do sistema internacional, utilizado para quantificar trabalho e energia. Um joule expressa o trabalho feito para produzir energia de um watt por um segundo; e um petajoule equivale a 1.1015 joules ou 1 quinquilhão de joules.

14 Storm e Smith, "Nuclear power – the energy balance ", 2007.

15 O valor mais alto considera o descomissionamento por desmantelamento e o valor mais baixo considera o descomissionamento por isolamento ou "sepultamento".

16 "Nuclear power, climate policy and sustainability", Conselho Austríaco de Orientação Nuclear, 2006.



Sapatos de crianças na escola infantil em Pripjat, Ucrânia, cidade mais atingida pelo acidente nuclear de Chernobyl.

As usinas nucleares Angra 1 e 2 custaram mais de R\$ 20 bilhões aos cofres brasileiros. A usina de Angra 3 já recebeu R\$ 1,5 bilhão, gasta por ano R\$ 20 milhões na manutenção de equipamentos adquiridos há mais de 20 anos e necessita ainda R\$ 7,2 bilhões para ser concluída. Os elevados custos de descomissionamento do complexo Angra não fazem parte desta conta. Estes custos, em levantamentos provisórios, são estimados em U\$ 200 milhões para Angra 1 e U\$ 240 milhões para Angra 2. Portanto, o custo total de Angra 3 aumentaria, na prática, em meio bilhão de reais. O Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) já determinou a criação do Fundo de Descomissionamento das Usinas Nucleares, mas a iniciativa ainda

não foi regulamentada pela CNEN. A constituição deste fundo é um requisito mínimo para a aferição dos verdadeiros custos da energia nuclear.

Não bastassem os impactos ambientais, os riscos inerentes a esta tecnologia e os altos custos, pesa ainda o problemático histórico da (in)segurança nuclear no Brasil. O relatório lançado pela Câmara dos Deputados em 2006¹⁷ expõe as graves deficiências da atual estrutura da área de fiscalização da radioproteção e segurança nuclear no Brasil, apontando ainda a ausência de segregação das funções de regulação, falta de definição de uma política nuclear e de clareza nas atividades operacionais.

Outro aspecto grave é o fato de que a mesma tecnologia utilizada para

gerar eletricidade pode ser utilizada para produzir armas e bombas nucleares. Um número crescente de países, muitos deles instáveis politicamente, vêm operando usinas nucleares e processando urânio. Esta expansão aumenta as possibilidades de roubo ou desvio deste material.

Um recente artigo publicado na revista inglesa "The Economist" expôs problemas nos procedimentos de verificação de roubo e desvio de materiais nucleares, levantadas pela NPEC (Centro de Educação da Política de Não-Proliferação). A Agência Internacional de Energia Atômica chegou a afirmar que o atual orçamento para fiscalização e salvaguarda de materiais atômicos não é capaz de cobrir as despesas necessárias¹⁸.

17 Relatório do grupo de trabalho fiscalização e segurança nuclear – Câmara dos Deputados – Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Brasília, 2006.

18 "Troubling flaws in the world's nuclear safeguards", The Economist, 2007.

5.1 Impactos da mineração de urânio

Mineração de urânio na Rússia. As minas são repletas de poeira de urânio e gás radioativo afetando a saúde dos trabalhadores e da população que vive na área.



A população e organizações de Caetité e Lagoa Real (BA), onde está localizada a única mina de urânio em operação comercial no Brasil, relata diversos problemas sobre as atividades da primeira etapa do ciclo do combustível nuclear gerenciada pela INB - Indústrias Nucleares Brasileiras.

A Unidade de Concentrado de Urânio (URA) de Caetité e Lagoa Real está operando sem licença permanente de operação desde 2000¹⁹. A URA não cumpre as exigências de monitoração das condições de saúde dos trabalhadores e da população do entorno nem a exigência de exames hidrogeológicos da região. Houve diversos casos de vazamento de material tóxico entre 2000 e 2004, sendo que o último caso de vazamento de urânio ao meio ambiente ocorreu em função de erros operacionais. Na ocasião, a equipe de fiscalização preventiva quase foi impedida de entrar nas instalações da unidade e a população só foi informada da extensão dos vazamentos oito meses após o ocorrido.

Um relatório de fiscais da CNEN (Comissão Nacional de Energia Nuclear) sobre a URA apontou riscos

de desabamento das instalações e suspeitas de contaminação da água. A inexistência de estudos hidrogeológicos agrava este quadro, dada à ausência de meios para evitar a contaminação dos lençóis freáticos. Há ainda casos de trabalhadores contaminados por licor e pasta de urânio.

A falta de monitoração de saúde dos trabalhadores e das comunidades gera insegurança na população do entorno da mina, sobre os perigos da exposição à radiação ionizante. Não existe um centro de diagnóstico de câncer na região, apesar da ocorrência de novos casos - inclusive entre trabalhadores.

O abandono dos contaminados é uma realidade também em outras regiões do país. Em Goiânia, falta reconhecimento de grande parte das vítimas do acidente com o césio-137 tanto pelo governo federal como pelo estadual. Na cidade de São Paulo, os trabalhadores da antiga Nuclemon, não recebiam nenhum tipo de assistência da INB, que alegava ter cessado vínculos com os ex-funcionários com o ato de demissão. Os trabalhadores, expostos a vários problemas de saúde tais como perda de audição por exces-

so de ruído e câncer por exposição à radiação da monazita, receberam, em 2007, planos de saúde válidos apenas no Rio de Janeiro. A situação só mudou meses depois, com a determinação da justiça de que a empresa entregue aos trabalhadores um convênio de saúde válido em São Paulo.

Ainda em relação à mineração, é importante ressaltar que a progressiva exploração das minas implica num maior consumo de energia e, conseqüentemente, mais emissões dada às crescentes dificuldades da extração do urânio. De acordo com Storm e Smith, quando a concentração de minério cai abaixo de 0,02%, a quantidade de emissões geradas na cadeia nuclear chegam a superar as emissões da queima direta de combustíveis fósseis.

No Brasil, a concentração de minério de urânio nas minas de Caetité e Lagoa Real (BA) são de 0,25% e na mina de Itataia²⁰ (CE) é de apenas 0.085%. Estes dados indicam que as emissões referentes à extração de urânio serão cada vez maiores no país, principalmente se o programa nuclear brasileiro for ampliado acarretando aumento na demanda por urânio nas próximas décadas.

19 Relatório do grupo de trabalho fiscalização e segurança nuclear – Câmara dos Deputados – Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Brasília, 2006.

20 Serviço Mundial de Informação Energética- Projeto urânio, 2007.

5.2 Lixo nuclear

Além dos acidentes, o maior impacto ambiental da energia nuclear são os rejeitos radioativos. Os conhecidos riscos à saúde humana demandam um gerenciamento totalmente seguro do resíduo radioativo, eliminando as possibilidades de vazamentos e contato com a população.

A situação dos rejeitos radioativos no Brasil é preocupante. Passadas três décadas do início do Programa Nuclear Brasileiro, a legislação nacional não estabeleceu regras para o manuseio e deposição de resíduos atômicos produzidos por centrais de geração nuclear.

O despreparo nacional no manuseio de rejeitos radioativos é traduzido na forma provisória de tratamento das 2.500 toneladas de média e baixa atividade de Angra 1 e 2. Até hoje este lixo está armazenado em galpões no próprio complexo das usinas, ao contrário do que previa o projeto inicial.

Existem outros nove depósitos não definitivos de rejeitos no Brasil. A maior parte deles situa-se na cidade de Poços de Caldas, com cerca de 15 mil toneladas de rejeitos de torta II e mosotório, originários do beneficiamento da monazita. A construção de um local definitivo para o armazenamento do lixo atômico está prevista para acontecer apenas a partir de 2012, após definição pelo governo do tamanho do parque nuclear brasileiro.

O armazenamento dos rejeitos de alta atividade é um problema ainda mais grave que permanece sem solução definitiva no mundo inteiro. Países de amplo parque nuclear como França e Estados Unidos ainda não têm uma resposta final para o destino do crescente lixo tóxico de alta radioatividade, que segue ativo por milhares de anos. Em Angra 1 e 2, este tipo de resíduo está guardado provisoriamente em piscinas de contenção com resfriamento dentro dos prédios das usinas, em locais de acesso extremamente restrito.

O destino deste lixo no país será um problema no médio prazo. Qual cidade aceitará receber tais resíduos? Nos Estados Unidos, o estado de Washington, que comporta o maior depósito de lixo nuclear do país, ajuizou três ações para deixar de receber o material; este não é o único caso de estado norte-americano que se recusa a receber resíduos radioativos²¹. O bilionário projeto de Yucca Mountain, que pretende armazenar 70 mil toneladas de rejeitos altamente radioativos, custará US\$ 56 bilhões, dos quais US\$ 18 bilhões já foram recolhidos na forma de impostos desde 1983 junto aos consumidores de eletricidade norte-americanos²².

É importante acrescentar a esta problemática o fato de que ainda não existe no mundo experiência acumulada sobre a conclusão do ciclo de vida de uma usina nuclear, considerando-se o término de sua vida útil e o longo período de descomissionamento. O acúmulo de rejeitos radioativos altamente tóxicos é um legado insustentável e perigoso deixado pela humanidade às gerações futuras; um problema sem equacionamento, tão grave quanto as crescentes emissões de gases de efeito estufa.

5.3 Acidentes nucleares

Usinas nucleares recebem a classificação do tipo "Damos" de acidentes graves, ou acidentes de conseqüências catastróficas, ainda que de baixa probabilidade de ocorrência. Além do alto impacto, estes acidentes são de ampla

extensão e longa duração, podendo afetar gerações futuras.

Análises de risco conservadoras estimam que a probabilidade de acidentes por derretimento de núcleo é de um a cada 4.000 reatores ano. Este índice



Usina nuclear de Chernobyl após o acidente.

significa que, para cada 4.000 reatores operando no mundo, haveria um acidente por ano. Atualmente, existem 441 reatores em operação no mundo; nesse contexto, a probabilidade é de um acidente a cada oito anos. Geralmente, o núcleo dos reatores é capaz de acumular até mil vezes a quantidade de produtos de fissão liberados pela bomba de Hiroshima²³.

Nos últimos anos, as usinas nucleares sofreram panes e acidentes. Em 2006, uma usina na Suécia quase sofreu um acidente de altíssima gravidade. Como conseqüência, as operações de quatro das dez usinas suecas foram suspensas. Em 2007, um incêndio na usina alemã de Krümmel causou sérios danos à segurança do reator.

Em julho de 2007, no Japão, a

usina Kashiwazaki-Kariwa sofreu várias liberações de radioatividade após um terremoto. Com o fechamento da usina após o acidente, o governo japonês foi obrigado a adotar medidas de racionamento de energia. A direção da usina japonesa reconheceu que as instalações não foram projetadas para suportar tremores como os ocorridos em julho.

No Brasil, além do material radioativo das usinas, existem cerca de mil fontes radioativas de localização desconhecida²⁴, representando o risco de um novo acidente como o do césio-137. A tragédia, ocorrida em Goiânia em 1987, é considerada o pior acidente radiológico em área urbana da história. De acordo com a Associação das Vítimas do césio-137, o contato da população com uma cápsula contendo 19 gramas

de césio-137 já provocou 60 mortes, fez mais de 6.000 vítimas e gerou 14 toneladas de lixo radioativo.

A indústria nuclear alega que acidentes como os de Chernobyl ocorreram há décadas e que, portanto, a energia nuclear é segura. A pergunta é: quantos acidentes e vítimas serão necessários para comprovar os riscos da energia nuclear?

Vítimas do acidente na Usina Nuclear de Chernobyl. No sentido horário, Galina Miroshnichenko, Vadim Selighanov e Michael Matjushkov.

5.4 Insegurança nuclear no Brasil

O Relatório do grupo de trabalho sobre fiscalização e segurança nuclear da Comissão de Meio Ambiente da Câmara dos Deputados, lançado em 2006, aponta diversas falhas na estrutura de controle das atividades nucleares no Brasil. Baseado neste e em outros estudos de instituições técnico-científicas e dos Poderes Executivo e Legislativo, o Ministério Público Federal em Angra dos Reis move, desde setembro de 2007, uma ação civil pública na Justiça para impedir a Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) de emitir e renovar licenças para a construção ou operação de instalações nucleares.

A principal irregularidade apontada pelo documento do congresso é a ambigüidade de funções da CNEN, que acumula a função de promoção, pesquisa e incentivo do uso de energia nuclear e fiscalização das atividades nucleares do país. Um exemplo gritante desta ambigüidade é o fato da CNEN ser a controladora do conselho administrativo da INB – Indústrias Nucleares Brasileiras, que extrai, beneficia e comercializa combustível nuclear no país.

Tal duplicidade de papéis viola diversas convenções e códigos de conduta dos quais o Brasil é signatário, entre elas a Convenção Internacional de Segurança Nuclear, a Convenção Comum sobre Segurança do Combustível Usado e Sobre a Segurança dos Rejeitos Nucleares e o Código de Conduta sobre Segurança de Fontes Radioativas. Estas convenções determinam que o órgão regulador do sistema nuclear e de gerenciamento de rejeitos radioativos seja autônomo e independente.

Outro fator preocupante é a inexistência de legislação específica para a regulação e fiscalização das atividades nucleares no Brasil. Não há base legal mínima ou especificações de penas e multas que assegurem segurança e controle. A falta de atribuições claras causa conflito entre fiscais da CNEN e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), do Ibama e do Ministério do Trabalho. Mais grave, a função de fiscal de radioproteção e segurança nuclear não é reconhecida por lei e acaba sendo desempenhada de forma irregular e sem critérios objetivos de designação por servidores do Ministério de Ciência e Tecnologia.

21 Novaes, Washington, "Polêmica nuclear está de volta", O Estado de São Paulo, 2004.

22 "The economic future of nuclear power", relatório da Universidade de Chicago, patrocinado pelo Departamento norte-americano de energia. Agosto, 2004.

23 NUREG/CR2497, NRC, 1982.

24 Relatório do grupo de trabalho fiscalização e segurança nuclear – Câmara dos Deputados – Comissão de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – Brasília, 2006.

Investir em usinas nucleares é uma distração cara e perigosa no combate aos efeitos de mudanças climáticas. Considerados custos, subsídios, longos períodos de construção e questões de segurança, conclui-se que existem alternativas muito mais eficazes, baratas e seguras para atender a crescente demanda de energia e proporcionar o desenvolvimento econômico e social do país. São as tecnologias renováveis e os programas e padrões de eficiência energética.

China e Índia são exemplos notáveis da expansão da geração eólica (a partir do vento) em um curto espaço de tempo – ressaltando que são dois grandes países em desenvolvimento. Com o apoio do governo e o aporte de investimentos privados, estes países desenvolveram capacidades eólicas que os colocam nos primeiros postos de geração mundial. O mercado de energia eólica na Índia é o quarto maior do mundo, com uma capacidade instalada de 6.270 MW, dos quais 1.840 MW foram instalados em 2006. A China tem o sexto maior mercado mundial, com 2.604 MW; mais 1.500 MW são esperados para 2007 e a meta da indústria eólica é atingir 5.000 MW até 2010.

Na Alemanha, a cidade de Freiburg foi pioneira no planejamento energético urbano, realizado em parceria com a concessionária de energia local. A cidade se posicionou contra a construção de uma usina nuclear e optou por energia solar e eficiência energética. Hoje, Freiburg é referência no uso da energia solar térmica, implantada a partir de um plano elaborado pelo conselho da cidade. Vale a pena mencionar que a Alemanha anunciou recentemente o descomissionamento de suas 19 usinas nucleares, decidindo eliminar a energia nuclear de sua matriz energética nas próximas décadas.

No Brasil, de acordo com a própria Eletrobrás, o custo de instalação da energia nuclear estaria em US\$ 3.000/kW, mais do que o dobro do custo da geração eólica e o dobro do valor gasto pela Eletropaulo em seu programa de eficiência energética. Apenas com os R\$ 7 bilhões que ainda seriam necessários para a sua finalização, sem contar o que já foi gasto, seria possível construir um parque eólico com o dobro da capacidade de Angra 3 (1.350 MW), sem gerar lixo radioativo e sem risco de acidentes. O Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), com 12% destes R\$ 7 bilhões (R\$ 850 milhões), economizou 5.124 MW, o que corresponde a cerca de quatro vezes a capacidade de Angra 3.

O alto custo da energia nuclear em relação às demais formas de geração é confirmado por uma série de estudos publicados em meios como *The Economist*, *New York Times* e *Financial Times*. A Agência Internacional de Energia calcula que a construção de usinas nucleares é mais cara do que a de usinas hidrelétricas e termelétricas a carvão ou gás; outro levantamento, do Departamento de Energia e Comércio da Inglaterra, aponta a energia nuclear como mais cara que as outras. O estudo do MIT²⁶, citado anteriormente, também aponta a eletricidade produzida por energia nuclear como 95% mais

cara que a eletricidade proveniente de térmicas a gás.

Em relação a benefícios sociais, é importante acrescentar que a indústria nuclear não movimentou o mercado de trabalho local, gerando apenas 1 emprego para cada 32 gerados a partir da eólica ou para cada 1.426 gerados a partir de energia solar, de acordo com o artigo "The case for renewable energies"²⁵ elaborado pelo professor José Goldemberg.

Em vez de optar pela energia nuclear, o Brasil precisa investir em energias renováveis como a eólica.



©Greenpeace/Philip Reynaers

Conclusão

Os resultados de emissões de CO₂ de Angra 3, somados aos resultados de diferentes estudos internacionais, evidenciam índices consideráveis de emissões atmosféricas de CO₂ equivalente e comprovam a ineficácia da energia nuclear na mitigação das mudanças climáticas. As emissões de 150 gCO₂/kWh são muito superiores às emissões de energias renováveis como a solar e principalmente a eólica.

Ainda que utilizada para substituir combustíveis mais poluentes como carvão ou gás, segundo o professor Goldemberg, reatores como os de Angra dos Reis reduzem emissões de cerca de 2 milhões de toneladas de carbono por ano, o que equivale a apenas 1% das emissões provenientes do desmatamento da Amazônia.

A análise de ciclo de vida da produção de energia nuclear mostra, de acordo com Storm e Smith, que a quantidade de urânio disponível não pode ser considerada uma fonte de energia direta. Isso porque a energia gasta para extrair e beneficiar este urânio, somada à energia empregada na construção, operação e descomissionamento de uma usina nuclear, além dos custos energéticos de armazenamento de rejeitos radioativos e recuperação da área de mineração e beneficiamento, pode exceder a quantidade de energia produzida por esta usina durante sua vida útil.

O permanente risco de acidentes nucleares e o impasse em relação ao

OUTROS USOS DA TECNOLOGIA NUCLEAR

Quando controlada, a tecnologia nuclear é um avanço científico que pode ser utilizado na medicina, em equipamentos de raios X e tratamentos de radioterapia para combater câncer, em experimentos científicos, na indústria e na agricultura, para ionizar gases, produzir fluorescência, atravessar corpos opacos à luz ordinária, esterilizar materiais, entre muitos outros. O Greenpeace não se opõe a estes usos da energia nuclear, desde que devidamente controlados. Sabe-se que o descarte incorreto de material radioativo, em depósitos de lixo ou em fábricas ou clínicas abandonadas, pode ocasionar um novo acidente radiológico, como o ocorrido em Goiânia, com a cápsula de césio-137.

ambientalistas x energia nuclear

O americano Patrick Moore e o inglês James Lovelock, duas figuras com importantes trajetórias no movimento ambientalista, são hoje dissidentes que militam a favor da energia nuclear. Ambos se manifestavam veementemente contrários à energia nuclear há cerca de 30 anos, mas hoje defendem o combate às mudanças climáticas a partir da ampliação da participação de usinas nucleares na geração de eletricidade.

Patrick Moore alega ser um dos fundadores do Greenpeace; exagerando sua verdadeira participação na organização. O verdadeiro fundador do Greenpeace foi Bob Hunter; Moore fez parte da tripulação da primeira atividade do Greenpeace, em 1971, contra a realização de testes nucleares pelos Estados Unidos nas Ilhas Aleutas, no Alasca. Patrick Moore foi expulso da organização em 1985, quando passou a prestar consultoria paga para empresas fornecedoras de produtos e serviços para a indústria nuclear. Defendeu também o desmatamento de florestas, em nome da indústria madeireira canadense, além da plantação de organismos transgênicos e do uso do PVC.

James Lovelock apontou os riscos do aquecimento global para a humanidade e os ecossistemas do planeta, explicando o funcionamento do planeta através da teoria Gaia. Hoje, é a favor da ampliação do uso da fissão nuclear como forma de conter as mudanças climáticas e promove o programa nuclear japonês. O Greenpeace Japão publicou uma carta aberta a Lovelock no início de 2007, expondo a verdade por trás de alguns dos pontos defendidos pelo cientista, como a ineficácia da energia nuclear no combate às mudanças climáticas e na redução de emissões de gases de efeito estufa, a possibilidade de ocorrência de novos acidentes em usinas nucleares, a dificuldade de descarte de acúmulos de rejeitos nucleares e o papel da expansão nuclear no atraso do desenvolvimento de fontes renováveis de energia.

25 Goldemberg, J. "The case for renewable energies", Thematic Background Paper, Conferência Internacional pelas Energias Renováveis, Bonn, 2004.

26 Massachusetts Institute of Technology.

acúmulo de lixo radioativo são dois dos principais impactos ambientais da energia nuclear. Além destes, a estrutura de segurança e fiscalização de instalações nucleares no Brasil é extremamente deficiente, com graves problemas estruturais como inexistência de legislação de regulação e fiscalização, ambigüidade de funções da CNEN (fiscalização e promoção da energia nuclear) e irregularidades nas autorizações de operação das usinas de Angra 2 e da mina de urânio de Caetité (BA), entre muitos outros.

Por fim, a enorme quantidade de dinheiro público empregado em usinas nucleares representa um obstáculo concreto à implementação de medidas efetivas de mitigação do aquecimento global. Especialmente no Brasil, que ainda não viu vingar um mercado nacional de renováveis como eólica e solar. Enquanto o governo Lula se promove internacionalmente sob a fachada verde do etanol e dos biocombustíveis, o Proinfa (Programa Nacional de Incentivo às Fontes Alternativas) patina na burocracia e na falta de empenho governamental.

O Brasil pode responder à sua crescente demanda de energia e se desenvolver economicamente com

base em um modelo elétrico descentralizado, amparado na utilização maciça de fontes renováveis (energia eólica, solar e de biomassa entre outras) e na implantação de medidas de eficiência energética em larga escala.

Este potencial nacional de energias renováveis e eficiência energética é detalhado no relatório [R]evolução energética²⁷, elaborado pelo Greenpeace e Conselho Europeu de Energias Renováveis, adaptado para o Brasil pelo GEPEA/USP. O estudo mostra que é possível eliminar a energia nuclear e a maior parte da geração a partir energias fósseis da matriz elétrica nacional. A matriz elétrica proposta pelo estudo prevê uma geração elétrica 88% renovável, somada a uma economia de R\$ 117 bilhões em 2050 em relação ao cenário de referência.

Neste contexto, a retomada de Angra 3 é indefensável dos pontos de vista econômico, social e, principalmente, ambiental. Para o Greenpeace, passados mais de 30 anos da criação do Programa Nuclear Brasileiro pelos comandantes da ditadura militar, o governo Lula honra a tradição e não abre o debate público e transparente sobre o tema nuclear. Prefere esconder-se sob a cortina de fumaça criada

por argumentos vazios repetidos por lobistas contratados pela indústria nuclear para justificar o investimento de R\$ 7 bilhões de dinheiro público em uma usina com tecnologia ultrapassada e poluente. Prefere continuar ignorando as vítimas da contaminação radioativa e os perigos da energia nuclear. Para a organização, o Brasil não precisa de Angra 3. O Brasil é renovável.

revolução energética já

O mundo vai precisar do dobro de energia até 2050. Para conseguir isso, só existem duas opções: começar a produzir energia a partir de fontes renováveis ou continuar queimando combustíveis fósseis - como petróleo e carvão - e contribuir com o aquecimento global.

O Greenpeace fica com a primeira opção e propõe uma [R]evolução Energética - um guia prático que mostra como o país pode crescer até 2050 impulsionado por fontes renováveis de energia, eliminando as fontes sujas - petróleo, carvão e nuclear.

O relatório [R]evolução Energética apresenta cenários futuros para a geração e distribuição de eletricidade no país com base em dados de aumento populacional, crescimento do PIB e fontes e tecnologias de energia disponíveis. Para 2050, é proposta uma matriz elétrica 88% renovável, livre de usinas nucleares e que agrega uma economia anual de R\$ 117 bilhões em relação ao cenário tendencial, através de medidas de eficiência energética.



Desmatamento zero e o aquecimento global

No início de outubro de 2007, o Greenpeace e outras oito organizações ambientalistas lançaram uma proposta chamada "Pacto pela valorização da floresta e pelo fim do desmatamento da Amazônia brasileira". O documento propõe um prazo de sete anos para acabar com o desmatamento na Amazônia através de um regime de metas de redução da destruição florestal.

Com investimentos da ordem de R\$ 1 bilhão por ano, as entidades, apoiadas por uma equipe de economistas, acreditam que podem por fim ao desmatamento e enfrentar a maior fonte brasileira de emissões de gases do efeito estufa.

Para alcançar este objetivo, o pacto prevê a adoção de políticas de valorização econômica da floresta tais como o pagamento por serviços ambientais e mecanismos como o mercado de carbono. O direcionamento da expansão agropecuária para áreas já degradadas é outro pilar da proposta. É ainda fundamental fortalecer a gestão florestal dos estados e combater com eficiência o desmatamento ilegal.

O apoio econômico e técnico proposto pelo Pacto deverão ser oferecidos a órgãos governamentais e atores sociais responsáveis pela proteção da floresta, como povos indígenas, comunidades locais, populações tradicionais, agricultores familiares e também aos produtores florestais, empresariais e agrícolas que assumirem estratégias de redução de desmatamento e de manutenção da floresta. O Pacto também pressiona o governo brasileiro a ser pró-ativo e trabalhar no âmbito da ONU pela inclusão das florestas no regime climático internacional.

Fato curioso: o valor total estimado pelas entidades ambientalistas para zerar o desmatamento até 2015, cerca de R\$ 7 bilhões de reais, é o mesmo valor anunciado pelo governo para a construção de Angra 3. Assim, se o Brasil quer realmente mitigar sua participação nas mudanças climáticas, deve priorizar o investimento de recursos no combate ao desmatamento e uso do solo, que respondem por 75% das emissões nacionais.

27 "Revolução Energética - perspectivas para uma energia global sustentável", Greenpeace e EREC, 2007.

Metodologia de cálculo de emissões de Angra 3

Esta metodologia considera parâmetros energéticos extraídos do estudo de “Nuclear Power – The Energy Balance” de Storm e Smith, adaptados para o caso da usina de Angra 3.

O reator utilizado na metodologia é o PWR, o mesmo de Angra 3.

A concentração de minério de urânio considerada é de 0,25%, valor da mina de Caetité, na Bahia.

O transporte de materiais e combustível do ciclo é embutido nos valores das etapas.

Os dados das tabelas abaixo foram calculados para a primeira carga do reator e para cada recarga. O valor total de recargas foi calculado em 45 para uma operação de 40 anos.

Valores energéticos utilizados no estudo de Storm e Smith, provenientes de diferentes fontes de pesquisa, adaptados para o caso nacional de Angra 3.

carga inicial (PJ)	razão (th/el)	PJ el	PJ th	
mineração e beneficiamento	0,758946434	7,5	0,089288	0,669659
conversão U_3O_8 para UF_6	0,83543211	27	0,029837	0,805595
enriquecimento	1,69231356	0,51	1,120737	0,571576
fabricação do elemento combustível	0,4143636	2,5	0,11839	0,295974
restauração da área de mineração	1,82746368	8	0,203052	1,624412
elemento combustível armazenamento provisório	0,361746	4,8	0,06237	0,299376
elemento combustível condicionamento	0,21924	4,8	0,0378	0,18144
elemento combustível descarte em depósito	2,872044	2,4	0,844719	2,027325
operação da usina	2,7	4,8	0,465517	2,234483
descarte permanente de resíduos da operação	0,61155	4,8	0,10544	0,50611
descarte de resíduos do descomissionamento	-	-	-	-
descarte permanente do urânio empobrecido	0,05765499	3,6	0,012534	0,045121
descarte permanente de outros resíduos do enriquecimento	0,07255089	3,6	0,015772	0,056779
total	12,42330526		3,105455	9,317851

recargas (PJ)	razão (th/el)	PJ el	PJ th	
mineração e beneficiamento	0,247887321	7,5	0,029163	0,218724
conversão U_3O_8 para UF_6	0,281197629	27	0,010043	0,271155
enriquecimento	0,595538055	0,51	0,394396	0,201142
fabricação do elemento combustível	0,1035909	2,5	0,029597	0,073994
restauração da área de mineração	0,58895424	8	0,065439	0,523515
elemento combustível armazenamento provisório	0,0904365	4,8	0,015593	0,074844
elemento combustível condicionamento	0,05481	4,8	0,00945	0,04536
elemento combustível descarte em depósito	0,718011	2,4	0,21118	0,506831
operação da usina	2,7	4,8	0,465517	2,234483
descarte permanente de resíduos da operação	0,3024	4,8	0,052138	0,250262
descarte de resíduos do descomissionamento	0,285	3,6	0,061957	0,223043
descarte permanente do urânio empobrecido	0,019406061	3,6	0,004219	0,015187
descarte permanente de outros resíduos do enriquecimento	0,025547805	3,6	0,005554	0,019994
total (para cada recarga)	5,3804256		1,11994	4,892839
total (para 45 recargas)	270,57508		50,3973	220,1778

energia total	PJ
mineração e beneficiamento	11,91388
conversão U_3O_8 para UF_6	13,48933
enriquecimento	28,49153
fabricação do elemento combustível	5,075954
restauração da área de mineração	28,3304
elementos combustíveis armazenamento provisório	4,431389
elementos combustíveis condicionamento	2,68569
elementos combustíveis descarte	35,18254
operação da usina	124,2
condicionamento de resíduos da operação	14,21955
descarte em depósito geológico	12,825
condicionamento do urânio empobrecido	0,930928
condicionamento dos resíduos do enriquecimento	1,222202
construção	100
descomissionamento	150
gasto total	533

Considera-se o tempo de operação da usina em 40 anos e o gasto energético total como as somatórias do gasto na carga inicial, das 45 recargas, e dos valores de construção e descomissionamento, o resultado é:

	PJ	razão (th/el)	PJ el	PJ th
construção	100	4,8	17,24138	82,75862
descomissionamento	150	4,8	25,86207	124,379
Total	250		43,10345	206,8966

A geração total de Angra 3 é calculada para um período de quarenta anos, considerado fator de capacidade de 0,87 e fator de disponibilidade de 0,89²⁸. A eletricidade demandada pelo sistema durante indisponibilidade da usina é considerada complementar à geração de Angra 3, ou em 11% do período.

As emissões totais são calculadas através da média ponderada entre as emissões referentes aos gastos energéticos elétricos e térmicos convertidos em kWh, somados ao consumo elétrico de períodos de indisponibilidade e/ou manutenção da usina.

O nível médio de emissões de CO₂ no Brasil foi calculado em 250 g/kWh²⁹. Apesar da predominância de geração hidrelétrica, a quantidade de emissões é mediana por conta dos quase 10% de participação de geração termelétrica na matriz elétrica nacional.

As emissões referentes ao consumo energético térmico dos processos são consideradas em 810g CO₂/kWh, equivalente à emissão de queima de óleo diesel.

Durante as interrupções de Angra 3 por indisponibilidade e/ou substituição de combustível³⁰, as emissões da energia provida ao sistema são consideradas equivalentes à média nacional, ou 250 g/kWh.

	TWh
geração total de Angra 3	366,27487
eletricidade demandada durante indisponibilidade	45,269928

emissões totais	g/kWh
Angra 3	150
valor máximo de Storm e Smith	400

Este valor máximo calculado por Storm e Smith leva em conta o aumento exponencial dos gastos energéticos de mineração conforme a exploração da mina. Para o cenário de maiores gastos, considerando a concentração de minério de urânio inferior a 0,01%, as emissões totais do ciclo nuclear ultrapassam as emissões de uma termelétrica a gás natural.

A opção de gastos de 100 PJ na construção da usina considera o valor intermediário dentre os levantados por Storm e Smith (considerando uma usina de 1 GW), extrapolado para a capacidade de Angra 3 (de 1,35 GW). Em relação ao descomissionamento, foi considerada a opção de desmantelamento da usina, de gasto energético estimado em 150% dos

gastos de construção, ou 150 PJ. É importante ressaltar que nenhuma usina nuclear comercial completou esta etapa; portanto ainda não se pode contar com dados empíricos baseados em experiências existentes. Para tanto foi considerado que as atividades de descomissionamento consumirão mais energia do que a construção da usina.

28 Dados da Eletronuclear, 2007.

29 Valor base obtido a partir das emissões mensais dos submercados nacionais de geração elétrica, calculados pelo MCT e pelo MME, e dos registros das usinas despachadas de forma centralizada pelo ONS.

30 Paradas estimadas em 40 dias por ano.

O Greenpeace é uma organização independente que faz campanhas utilizando confrontos não-violentos para expor os problemas ambientais globais e alcançar soluções que são essenciais a um futuro verde e pacífico. Nossa missão é proteger a biodiversidade em todas as suas formas, evitar a poluição e o esgotamento do solo, oceanos, água e ar, acabar com as ameaças nucleares e promover a paz.

Desde sua origem, o Greenpeace adotou o princípio de não receber recursos de empresas, partidos políticos ou governos, e é mantido apenas com a colaboração de pessoas físicas como você.

No Brasil desde 1992, o Greenpeace faz campanha pela proteção da floresta amazônica, contra os organismos geneticamente modificados, contra a energia nuclear e contra as mudanças climáticas, além de apoiar e promover a utilização de energias limpas e renováveis.

Você também pode fazer parte desta luta. Filie-se ao Greenpeace, acessando nosso site ou pelo telefone 0300-789-2510 (ligação tarifada).

Greenpeace Brasil
Rua Alvarenga, 2.331, Butantã
São Paulo, SP, Brasil - 05509-006
www.greenpeace.org.br

energia
resíduos
desenvolvimento global
impactos
efeito estufa

NOVEMBRO DE 2007