

# **Perigos dos Reatores Nucleares**

**Riscos na operação da tecnologia nuclear no século 21**

**Relatório preparado para o Greenpeace Internacional  
por Helmut Hirsch, Oda Becker, Mycle Schneider e Antony Froggatt**

**Abril de 2005**

## **Sobre os autores do relatório:**

**Dr. Helmut Hirsch**, consultor científico, Hannover, Alemanha: [cervus@onlinehome.de](mailto:cervus@onlinehome.de)

Autor principal, responsável pelas seções A, B.1 C, D.1.i, iii, iv

O doutor Helmut Hirsch é um consultor independente para assuntos nucleares e foi o fundador e cientista do Gruppe Ökologie Hannover. Em sua carreira, atuou em diversos cargos e comissões, incluindo: Desde 1990, um membro do “Fórum für Atomfragen” (FAF), uma comissão de especialistas que fornece consultoria sobre assuntos nucleares para o ministro de meio ambiente da Áustria. Em 2004: Participação em estudo tratando do risco de ataques terroristas à instalação de armazenamento provisório de combustível usado de Grafenrheinfeld (planejado; Alemanha), para a cidade de Schweinfurt, Alemanha. Em 2003: Participação em um estudo de possíveis perigos devido à instalação de armazenamento de combustível usado em Skull Valley, Utah (EUA). Desde 2002 participando, como especialista nuclear, do Suporte Técnico para o Processo de Monitoramento da Usina Nuclear Tcheca Temelín, trabalhando para a Agência Federal de Meio Ambiente da Áustria (Viena). Entre 1991-1998: membro de uma comissão especializada em prover consultoria ao governo do estado da Baixa Saxônia (Alemanha) em assuntos nucleares.

**Oda Becker**, consultora científica, Hannover, Alemanha: [oda.becker@web.de](mailto:oda.becker@web.de)  
Autora das seções: B.2, D.2

Oda Becker é física e trabalha no campo da segurança nuclear há muitos anos. Entre seus clientes encontram-se o governo federal austríaco e diversas organizações não-governamentais. Entre outros projetos, ela contribuiu para um projeto-piloto tratando de critérios de segurança para usinas nucleares em 1999/2000. Desde 2001, ela participa de estudos sobre os perigos do combustível usado armazenado em barris, analisando os cenários de acidentes resultantes da colisão de grandes aeronaves comerciais e do impacto de uma arma anti-tanque. Em 2004, ela contribuiu para um estudo sobre a vulnerabilidade das usinas nucleares alemãs Biblis e Brunsbüttel a ataques terroristas, para o Greenpeace Alemanha.

**Mycle Schneider**, Paris, França: [mycle@wannado.fr](mailto:mycle@wannado.fr)  
Autor da seção: D.1.ii

Mycle Schneider trabalha como consultor internacional independente e escritor científico. Entre 1983 e abril de 2003 foi diretor-executivo do Serviço de Informação em Energia WISE-Paris e editor-chefe da Investigação do Plutônio, baseado na internet. Em 2004, liderou as Estratégias Ambientais e de Energia do Máster Internacional para a Direção de Projeto de Engenharia Ambiental e de Energia na French Ecole des Mines em Nantes. Entre 1998-2003 foi conselheiro do Ministério de Meio Ambiente francês e do Ministério de Energia e Desenvolvimento Sustentável belga. Ele é consultor de assuntos nucleares do Ministério de Meio Ambiente alemão, 2000-2005. Ele forneceu consultoria para uma grande variedade de clientes incluindo a AIEA, Greenpeace Internacional, Unesco, Comissão Européia, Diretório Geral de Pesquisas do Parlamento

Europeu e seu Painel de Avaliação de Opção Científica e Tecnológica (STOA). As numerosas publicações de Mycle Schneider cobrem a análise da proliferação nuclear, segurança, assim como questões de planejamento. Em 1997, foi honrado com o prêmio Right Livelihood (“prêmio Nobel alternativo”), junto com Jinzaburo Takagi por seu trabalho em temas relativos ao plutônio.

**Antony Froggatt:** London, UK: [a.froggatt@btinternet.com](mailto:a.froggatt@btinternet.com)  
Coordenador do Projeto

Encomendado por: **Greenpeace Internacional**  
Contato: Jan Vande Putte: [jan.vande.putte@int.greenpeace.org](mailto:jan.vande.putte@int.greenpeace.org)  
Ottho Heldringstraat 5, 1066 AZ Amsterdam, Holanda

## Sumário Executivo

Este relatório fornece uma avaliação ampla dos perigos dos reatores nucleares em operação, dos novos projetos “evolucionários” e dos conceitos de futuros reatores nucleares. Também trata dos riscos associados ao manejo do combustível nuclear utilizado. A primeira parte do relatório descreve os problemas característicos e inerentes aos projetos dos principais reatores em operação atualmente; a segunda parte avalia os riscos associados a novos projetos; a terceira parte, o “envelhecimento” dos reatores em operação; a quarta parte, a ameaça terrorista à energia nuclear; e a quinta parte, os riscos associados aos impactos das mudanças climáticas — como enchentes — sobre a energia nuclear.

As principais conclusões são:

- Todos os reatores em operação possuem falhas de segurança inerentes muito graves, que não podem ser eliminadas com atualizações tecnológicas no sistema de segurança;
- Um grande acidente em um reator de “água leve” (a grande maioria dos reatores em operação no mundo utilizam esta tecnologia) pode levar à liberação de radioatividade equivalente a centenas de vezes o que foi liberado em Chernobyl, e cerca de mil vezes o que é liberado por uma arma de fissão nuclear. A remoção da população pode se tornar necessária para grandes áreas (de até 100.000 km<sup>2</sup>). O número de mortes por câncer poderia exceder um milhão de casos;
- Novas linhas de reatores são concebidas e anunciadas como fundamentalmente seguras. No entanto, além de possuírem problemas específicos de segurança, esses novos reatores exigiriam grandes investimentos para serem desenvolvidos, com um resultado incerto;
- A idade média dos reatores do mundo é de 21 anos e muitos países estão planejando estender sua vida útil para além daquela prevista em seu projeto original. Esta prática poderá levar à degradação de componentes críticos e a um aumento nos incidentes de operação, podendo culminar num grave acidente. Os mecanismos de degradação relacionados a sua duração não são bem conhecidos e são difíceis de se prever;
- A desregulamentação (liberalização) dos mercados de eletricidade levou as operadoras de usinas nucleares a reduzirem os investimentos em segurança e a limitarem seu quadro de funcionários. As empresas também estão alterando seus reatores para funcionarem sob pressão e temperatura mais altas, o que eleva a queima do combustível. Isso acelera o envelhecimento do reator e diminui sua margem de segurança. Agências reguladoras não são sempre capazes de administrar esse novo regime de operação;
- O combustível descartado, altamente radioativo, geralmente é armazenado com resfriamento contínuo. Se o resfriamento falhar, poderia haver um grande

vazamento de radioatividade, bem mais grave do que o do acidente em Chernobyl, em 1986;

- Os reatores não podem ser suficientemente protegidos contra uma ameaça terrorista. Há diversos cenários — como a colisão de um avião com o reator — que poderia causar um acidente grave;
- Impactos das mudanças climáticas, como enchentes, elevação do nível do mar e estiagem extrema, aumentam seriamente os riscos de um acidente nuclear.

### **Tipos de reatores comerciais e suas deficiências**

No início de 2005, havia 441 reatores nucleares, operando em 31 países. A idade, o tamanho e o tipo de projeto de todos esses reatores variam consideravelmente.

O projeto predominante em operação é o **Reator a Água Pressurizada (PWR)**, com 215 deles em operação em todo o mundo. O projeto do PWR foi originalmente concebido para a propulsão de submarinos militares. Portanto, esses reatores são pequenos se comparados a outros modelos, mas possuem uma elevada potência energética. Conseqüentemente, a água de esfriamento no circuito primário do reator tem uma temperatura e uma pressão mais alta do que em outros modelos de reator comparáveis. Esses fatores podem acelerar a corrosão de componentes; os geradores de vapor, em particular, freqüentemente têm de ser substituídos.

De forma semelhante, existe atualmente uma extensa documentação sobre os problemas de rachaduras no topo dos vasos dos reatores. Essa tampa no topo do vaso de pressão contém uma tubulação que permite que as varas de controle sejam inseridas no centro do reator, a fim de se monitorar a reação em cadeia. No início dos anos 90, rachaduras começaram a aparecer no topo da torre de alguns reatores na França.

Foram realizadas investigações mundialmente, e problemas similares foram detectados na França, Suécia, Suíça e EUA. O exemplo mais grave descoberto até hoje ocorreu no reator Davis Besse em Ohio, EUA. Nesse caso, a rachadura desenvolveu-se por cerca de uma década sem ser percebida, apesar das supervisões de rotina. Quando descoberta, já havia penetrado o vaso de pressão, através de 160 mm de espessura, e apenas 5 mm de seu revestimento de aço — que se tornava saliente devido à pressão — impedia uma abertura no sistema de esfriamento primário, a mais importante barreira de segurança de um reator.

De todos os tipos de reatores comerciais, o PWR acumulou o maior número de anos de funcionamento. É notável que, apesar disso, esse tipo de reator ainda apresenta problemas novos e completamente inesperados. Um exemplo surpreendente é o risco de entupimento da fossa do filtro, que não era reconhecido até 2000.

O reator russo **VVER** possui um projeto e uma história semelhantes ao PWR. Existem atualmente 53 desses reatores instalados em sete países do Leste Europeu, com três tipos de reatores. O mais antigo, VVER 440-230, é um modelo com problemas graves significativos e, conseqüentemente, o G8 e a União Européia (UE) acreditam que economicamente não é possível adaptá-lo para um padrão de segurança aceitável. A falta de um sistema de contenção secundário e de um sistema central de esfriamento de emergência adequado são motivo para maior preocupação, particularmente.

A segunda geração de VVERs, a 440-213s, introduziu um sistema central de esfriamento de emergência, mas não dispõe de um sistema de contenção secundário.

Um terceiro projeto de VVERs, o 1000-320s, apresentou mudanças adicionais ao modelo mas, apesar disso, os reatores não são considerados tão seguros como seus contemporâneos PWRs. De fato, em seguida à unificação da Alemanha, VVERs de todas as gerações foram fechados, ou sua construção foi abandonada. Para tanto, foram consideradas para essas decisões tanto questões de segurança quanto econômicas, com mais peso sobre as preocupações com a segurança.

O segundo desenho de reator mais predominante no mundo é o **Reator a Água Fervente (BWR)** (há mais de 90 deles em operação), que foi desenvolvido a partir do PWR. A finalidade das modificações introduzidas foi de se simplificar mais o modelo e de se aumentar sua eficiência térmica, utilizando-se um circuito único e gerando-se vapor a partir do centro do reator. Todavia, tais alterações não lograram incrementar a segurança do modelo. O resultado é um reator que mantém a maioria dos riscos do PWR, ao mesmo tempo em que introduz uma série de novos problemas.

Os BWRs possuem uma densidade de potência elevada no núcleo, assim como pressão e temperatura elevadas em seu circuito de resfriamento, embora todos esses parâmetros sejam de alguma forma mais baixos do que em um PWR. Além disso, a tubulação do sistema de resfriamento de emergência é muito mais complexa em um BWR, e a injeção de sua barra de controle vem da parte inferior do vaso de pressão. Portanto, resulta que o desligamento de emergência não pode depender da gravidade, como no caso dos PWRs, fazendo-se necessário haver sistemas de segurança ativos adicionais.

Problemas de corrosão significativos foram observados em muitos BWRs. No começo dos anos 90, uma grande quantidade de rachaduras foram detectadas em diversos BWRs na Alemanha, ao se transportar um material pela tubulação que era considerado resistente à chamada fissuras por corrosão de estresse.

Existe outro problema persistente em BWRs, ocorrido em 2001: a ruptura da tubulação em Hamaoka-1 (Japão) e em Brunsbüttel (Alemanha). A causa em ambos os casos foi a explosão de uma mistura de hidrogênio e oxigênio,

produzida por hidrólise na água refrigerante. Se uma explosão de oxi-hidrogênio danificar componentes cruciais do sistema de controle e proteção do reator e/ou o invólucro de retenção, ocorrerá um acidente severo, com uma liberação de radioatividade catastrófica, comparável à do acidente de Chernobyl.

O próximo reator mais predominante atualmente é o **Reator a Água Pesada Pressurizada**, do qual existem 39 unidades em operação em sete países. O projeto principal desse modelo é o canadense CANDU, que é abastecido por urânio natural e resfriado e moderado por água pesada. A blindagem primária do reator envolve os 390 cilindros de pressão individuais. O modelo do reator possui algumas deficiências inerentes, mais notavelmente o fato de possuir o coeficiente de vácuo positivo, pelo qual o nível de reatividade aumentará caso o reator desprenda líquido refrigerante. Em segundo lugar, a utilização de urânio natural eleva significativamente o volume de urânio no centro do reator, o que pode causar instabilidades. Os cilindros de pressão que contêm os cilindros de urânio estão sujeitos a um expressivo bombardeio de nêutrons. A experiência no Canadá demonstrou que os cilindros de pressão se degradaram, exigindo a realização de caros programas de reparos, em alguns casos depois de apenas 20 anos em operação.

Esses e outros problemas operacionais causaram grandes problemas de segurança e econômicos para o grupo dos CANDU. Em junho de 1990, seis reatores dentre os dez melhores do mundo em performance eram CANDU, quatro dos quais da Ontario Hydro. Em seis anos, sua capacidade caiu drasticamente devido ao que jornais técnicos denominaram “falhas profundas de manutenção”. Além disso, a operação de oito reatores CANDU da Ontario Hydro foi suspensa ou indefinidamente deferida no final dos anos 90 — embora alguns deles tenham sido agora reativados.

O outro projeto desenvolvido na Rússia foi o RBMK, que é um reator a água fervente moderado com barras de grafite, usado na usina de Chernobyl na Ucrânia, local do pior acidente nuclear do mundo, ocorrido em 1986. O reator apresenta alguns dos mesmos problemas do modelo CANDU, a saber o coeficiente de vácuo positivo e instabilidades no centro do reator. Mas também possui uma série de problemas adicionais que exacerbam esses — particularmente, um grande número de cilindros de pressão (1693 nos RBMK 1000).

Alguns problemas do projeto do RBMK foram retificados como resultado da experiência adquirida em Chernobyl, e isso levou ao aumento do enriquecimento de urânio e a uma mudança nas barras de controle. Porém, por razões técnicas ou econômicas, outros problemas permanecem. Por exemplo, apenas dois dos 12 reatores ainda existentes instalaram sistemas de desligamento secundários completamente distintos e independentes. Assim, os outros 10 não estão de acordo com as exigências de segurança da AIEA (Agência Internacional de Energia Atômica).

Reatores RBMK também contêm mais liga de zircônio no núcleo do que qualquer outro tipo de reator (cerca de 50% mais do que um BWR convencional). Eles também contêm uma grande quantidade de grafite (aproximadamente 1700 toneladas). Um incêndio com grafite pode agravar seriamente um acidente — o grafite é um elemento que também pode reagir violentamente com a água em temperaturas elevadas, produzindo um hidrogênio explosivo.

Falha em um único cilindro de pressão em um RBMK não leva necessariamente a conseqüências catastróficas. No entanto, o grande número de cilindros e canos necessita de um número grande similar de soldas, constituindo um sistema de difícil inspeção e manutenção. A capacidade de supressão da pressão do sistema de invólucro dos RBMKs foi aperfeiçoada a fim de se poder controlar uma ruptura de até nove cilindros de pressão. Entretanto, no caso de um bloqueio do escoamento após um acidente com perda de líquido refrigerante, poderia atingir-se temperaturas suficientemente elevadas para se romper um número de até 40 canais. A conseqüência poderia ser a destruição catastrófica do núcleo do reator.

As falhas fundamentais no projeto desses reatores levaram a comunidade internacional a classificá-los como “não-modernizáveis” e a buscar seu fechamento. Isso ocorreu ou irá ocorrer na Lituânia e Ucrânia, mas apesar disso, na Rússia, há esforços em andamento para estender a vida desses reatores, em vez de aposentá-los mais cedo.

O Reino Unido desenvolveu dois projetos de reatores para produção de plutônio: o **Magnox** (reator de urânio natural moderado com grafite, resfriado a ar) e, subseqüentemente o **Reator Avançado Refrigerado a Gás** (AGR). Os reatores Magnox possuem uma densidade de potência muito baixa e conseqüentemente núcleos grandes. Em uma tentativa de superar essa fraqueza observada, a densidade de potência foi elevada em um fator de dois no AGR, mas ainda é baixo se comparado a reatores a água leve. No circuito primário, circula dióxido de carbono. A circulação do gás é mais complexa nos AGRs pois a temperatura mais alta exige um fluxo especial através do moderador grafite.

Em ambos os projetos, o núcleo do reator está localizado dentro de um grande vaso de pressão. Os reatores Magnox com vasos de pressão de aço mais antigos sofreram de corrosão. Esses problemas são agravados pelo envelhecimento relacionado a temperatura de operação e pela degradação do material causada pela indução de nêutrons, que torna o material do reator quebradiço.

O vaso de pressão tornando-se quebradiço pode levar a uma perda total do líquido resfriador primário, e possivelmente a liberando grandes quantidades de radioatividade. Por essa e outras razões, uma série de usinas Magnox já foram desligadas.

Tanto os reatores Magnox, quanto os reatores AGRs não possuem uma blindagem secundária. Os dois tipos de reatores têm um alto potencial para liberação de grandes quantidades de radiação. Os antigos reatores Magnox



precisam ser considerados particularmente perigosos devido a essas deficiências de segurança.

Somando-se aos diferentes problemas inerentes dos vários modelos de reatores, fatores operacionais internos e externos podem conspirar para reduzir ainda mais as margens de segurança. Esses fatores incluem:

***Envelhecimento:***

Existe um consenso geral de que a extensão da vida dos reatores é hoje uma das principais questões para a indústria nuclear. A Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) sugestivamente faz a seguinte afirmação:

*“Se não houver mudanças na política relativa à energia nuclear, a vida das usinas é a única questão mais importante da produção de eletricidade nuclear na próxima década”.*

Por todo o mundo, durante as últimas duas décadas houve uma tendência geral contra a construção de novos reatores. Como consequência, sua idade média em todo o planeta cresceu ano a ano, e agora está em 21 anos.

Na época de sua construção, se presumiu que esses reatores não seriam operados durante mais de 40 anos. Porém, a extensão de sua vida útil oferece uma proposta atraente para os operadores de usinas nucleares, a fim de maximizarem os lucros.

Processos de envelhecimento são de difícil detecção porque geralmente ocorrem no nível microscópico da estrutura interna dos materiais. Eles freqüentemente se tornam aparentes somente depois da falha de um componente, por exemplo, quando ocorre o rompimento de uma tubulação. .

As consequências do envelhecimento podem ser descritas com base em dois ângulos distintos. Primeiramente, o número de incidentes e eventos reportáveis em uma usina de energia atômica aumentará — pequenos vazamentos, rachaduras, curtos-circuitos devido a falhas em cabos etc. Em segundo lugar, o processo de envelhecimento está levando ao enfraquecimento gradual de materiais que poderiam causar falhas catastróficas de certos componentes, com subseqüentes liberações radioativas severas. O mais notável é a fragilização do vaso de pressão do reator, que eleva o risco de que simplesmente exploda. A eventual falha do vaso de pressão de um PWR ou BWR constitui um acidente que ultrapassa o alcance do projeto original, para o qual não há nenhum sistema de segurança capaz de evitar uma consequente liberação catastrófica de material radioativo no meio ambiente. Enquanto as usinas nucleares do mundo tornam-se velhas, há esforços para se minimizar o papel desse processo de envelhecimento. Esses esforços incluem convenientes reduções da definição de envelhecimento. Além disso, a falha mais básica e mais grave das normas regulatórias internacionais reside no fato de que nenhum país possui um conjunto de critérios

técnicos abrangente para se decidir quando a operação de uma usina nuclear não deve mais ser permitida. Está claro que o risco de acidentes nucleares cresce significativamente a cada ano, uma vez que uma usina nuclear esteja em operação por cerca de duas décadas.

### ***Ameaças terroristas para:***

#### *Usinas de Energia Nuclear.*

Mesmo antes dos ataques em Nova York e Washington em 2001, se havia levantado preocupações sobre o risco de atentados terroristas a usinas nucleares. Instalações nucleares já foram destruídas no passado, como no ataque de Israel ao reator Osirak, no Iraque. As ameaças de ataques terroristas e atos de guerra contra usinas de energia nuclear podem ser resumidas da seguinte forma:

- Devido a sua importância para o sistema de fornecimento de eletricidade, às severas conseqüências da liberação de radioatividade e ao seu caráter simbólico, as usinas de energia nuclear são “atrativas” para ataques tanto terroristas como militares.
- Um ataque a uma usina de energia nuclear pode levar à liberação de radioatividade equivalente a várias vezes o que foi liberado em Chernobyl. A relocação da população pode ser necessária para grandes áreas (de até 100.000 km<sup>2</sup>). O número de mortes por câncer poderia ultrapassar um milhão.
- Usinas de energia nuclear poderiam ser alvos em caso de guerra se houver suspeita de que existe uso militar da mesma.
- O espectro de modos possíveis de ataques é muito diverso. Ataques poderiam ser levados a cabo por ar, terra ou água. Diferentes meios ou armas podem ser usados.
- Medidas de proteção contra atentados são muito limitadas. Além disso, uma série de medidas concebíveis não pode ser implementada em uma sociedade democrática.

#### *Usinas de Reprocessamento e Áreas de Armazenamento de Combustível Usado.*

A quantidade de plutônio sendo armazenado está crescendo sem parar. Enquanto os EUA e a Rússia concordaram em desfazer-se, cada um, do “excesso”, de 34 toneladas de plutônio com especificação para armamentos, as reservas “civis” de plutônio ultrapassam 230 toneladas. No fim de 2002, o maior detentor de reservas de plutônio era o Reino Unido, com mais de 90 toneladas, seguido pela França com 80 toneladas, e a Rússia com mais de 37 toneladas. O plutônio tem duas características particulares: é de alto valor estratégico como ingrediente primário para armamentos e é altamente radiotóxico. Poucos quilogramas desse material

são suficientes para se fabricar uma arma nuclear simples, e apenas poucos microgramas inalados são suficientes para se desenvolver câncer.

Infelizmente, nenhum dos prédios das usinas de Sellafield ou La Hague foram projetados para suportar impactos extremos — por exemplo, de um avião de grande porte com o tanque cheio ou por mísseis balísticos. A probabilidade de que resistiriam a tais impactos é limitada. O pior mecanismo para a liberação do plutônio, geralmente armazenado na forma de óxido, seria por um grande incêndio, que transformaria as partículas de plutônio suspensas no ar em micro-partículas de tamanho facilmente inalável.

As instalações de armazenamento do combustível nuclear utilizado e do lixo radioativo contêm de longe os maiores inventários de substâncias radioativas de qualquer outra parte de uma usina em toda a cadeia do combustível nuclear. O combustível usado mantido em tanques de resfriamento, assim como os altos níveis de resíduos radioativos não-acondicionados, encontrados na forma líquida e de lodo, são especialmente vulneráveis a ataques. A principal razão é que eles se encontram em um estado que de fácil dispersão, em instalações de armazenamento que não são projetadas para suportar uma colisão de um grande avião ou um atentado com armas pesadas. Instalações de armazenamento em usinas de reprocessamento contêm várias centenas de vezes mais radioatividade do que a quantidade que foi liberada como consequência do desastre de Chernobyl.

#### *Instalações de armazenamento de barris de combustível usado.*

Como em outras formas de armazenamento, o combustível usado mantido em barris é vulnerável a ataques terroristas. A resultante liberação de radioatividade, porém, deverá ser mais reduzida do que aquela que resulta de ataques às piscinas de armazenamento. Por outro lado, os barris aparentemente são mais acessíveis do que as piscinas de armazenamento de combustível usado localizadas em grandes prédios. Melhorias do conceito de armazenamento são possíveis, no entanto, elas provavelmente só terão chance de ser implementadas se a quantidade de resíduo não for muito grande.

#### *Transporte Nuclear.*

Atentados terroristas contra o transporte de material radioativo podem ocorrer praticamente em qualquer lugar de qualquer país altamente industrializado. É improvável que a carga de cada carregamento ultrapasse algumas toneladas, portanto, a liberação esperada de radioatividade será de menor magnitude do que a resultante de ataques a instalações de armazenamento — mesmo se os contêineres transportados forem seriamente danificados. Por outro lado, não é possível prever o lugar em que a liberação ocorrerá, já que os ataques podem ocorrer, em princípio, em qualquer lugar ao longo das rotas de transporte como estradas de ferro ou portos.

## ***Mudanças climáticas e Tecnologia Nuclear:***

As mudanças climáticas globais são uma realidade. Existe um amplo consenso no meio científico sobre essa questão. A temperatura média da superfície do planeta se elevou em  $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$  desde o fim do século 19. Os resultados das pesquisas desenvolvidas por estudiosos do clima indicam que mesmo leves mudanças na temperatura acarretam um impacto tremendo no número correspondente de eventos climáticos extremos. Precipitações mais intensas, assim como tempestades, ocorrerão mais freqüentemente, o que causará (e já causou) impactos sobre a operação das instalações nucleares, e particularmente das usinas de energia nuclear.

Cerca de 700 eventos naturais perigosos foram registrados no mundo todo em 2003. Desses, 300 foram tempestades e eventos climáticos severos, e aproximadamente 200 deles foram grandes inundações. Esses eventos climáticos severos não usuais afetam a operação das instalações nucleares ao causarem inundações ou secas, afetando o sistema de resfriamento ou outros sistemas de segurança. Soma-se a isso o fato de que as tempestades podem afetar direta ou indiretamente a operação da usina nuclear, danificando a rede elétrica. Fortes tempestades podem levar a múltiplos danos às linhas de transmissão, e assim à perda de eletricidade via rede.

Toda usina nuclear possui suprimento de eletricidade de emergência, que geralmente funciona a óleo diesel. Entretanto, sistemas de energia emergenciais movidos por geradores a diesel são notoriamente propensos a problemas. Se os geradores de emergência falham, a situação na usina torna-se crítica (“blackout na usina”). Um blackout em uma usina de energia nuclear é um forte colaborador para o agravamento de danos no núcleo do reator. Sem eletricidade, o operador perde a instrumentação e a capacidade de controle, levando à impossibilidade de resfriar o núcleo do reator. Um desastre natural que atinge as linhas que levam eletricidade para uma usina nuclear, aliado a falha dos geradores de emergência locais, pode resultar em um acidente grave.

As regulamentações e normas práticas determinando essas precauções ainda refletem as condições dos anos 80 e não são apropriadas para o presente momento, marcado por ameaças crescentes à rede elétrica, devido às mudanças climáticas e à liberalização dos mercados de eletricidade e à ataques terroristas.

### **Novos projetos de reatores**

Enquanto há somente cerca de 25 reatores em construção no mundo — alguns dos quais podem nunca virem a ser concluídos — o desenvolvimento da tecnologia continua e pode ser dividido em duas categorias.

### *Geração III*

Em todo o mundo, há por volta de 20 conceitos diferentes para a próxima geração de reatores nucleares, conhecida como a Geração III. A maior parte deles é de projetos “evolucionários”, desenvolvidos a partir dos modelos da Geração II (a atual), com algumas modificações mas sem mudanças drásticas. Alguns deles representam abordagens mais inovadoras. Somente no Japão existem reatores da Geração III em operação, em escala comercial — os Reatores Avançados a Água Fervente (ABWR). Em seguida, o projeto mais avançado é o Reator Europeu a Água Pressurizada (EPR), que está sendo construído na Finlândia, e também poderá ser estabelecido na França.

Esses reatores tendem a ser versões modificadas de reatores já existentes. No caso do EPR, o reator é simplesmente uma versão mais recente de projetos correntes — o reator francês N4 e o alemão Konvoiwith com alguns aperfeiçoamentos, mas também com reduções nas margens de segurança e maior fragilidade para alguns sistemas de segurança.

### *Geração IV*

Sob a liderança dos EUA, o “Fórum Internacional da Geração IV” (GIF) foi criado em 2000. Atualmente, existem seis projetos de reatores sendo considerados, incluindo: Sistema de Reator Rápido Resfriado a Gás; Sistema de Reator Rápido Resfriado a Chumbo; Sistema de Reator a Salmoura; Sistema de Reator Resfriado a Água Supercrítica; Sistema de Reator Rápido Resfriado a Sódio; Sistema de Reator a Temperatura Muito Alta. No entanto, não está claro qual projeto será promovido, qual é o tamanho mais apropriado, se o ciclo de combustível deveria ser aberto ou fechado, ou qual é a data almejada para comercialização.

Os conceitos básicos da “nova geração” surgiram com a própria energia nuclear, mas foram forçados para fora do mercado nos anos iniciais pelos reatores a água leve — não sem razão, considerando as experiências até o momento, dominadas por problemas técnicos e econômicos, além de deficiências de segurança. A fim de se superar esses problemas, é necessário desenvolver-se materiais, processos e regimes operacionais que sejam significativamente diferentes dos atualmente empregados nos sistemas em operação ou anteriores. É preciso levar adiante a pesquisa e o desenvolvimento para se confirmar a viabilidade e a segurança das abordagens dos novos projetos.

Cada um desses reatores possui grandes variações e vantagens relativas e desvantagens em comparação uns aos outros. Contudo, atualmente, eles são apenas projetos de papel, e uma previsão otimista para sua comercialização situa-a em 2045.

## ***C: Envelhecimento, Extensão da vida útil de uma usina (PLEX) e Segurança***

### **Conclusões**

1 - A partir da discussão acima, fica claro que as empresas operadoras de usinas nucleares enfrentam um dilema, que se torna mais urgente quanto maior o tempo de funcionamento da usina nuclear, e os mecanismos de envelhecimento tornam-se mais virulentos: Medidas para a extensão da vida útil (assim como para a geração de mais energia) por um lado podem ser economicamente atrativas e oferecer uma chance para se melhorar o balanço geral da operação de usinas nucleares. Por outro lado, elas ampliam os perigos do envelhecimento e aumentam o risco de uma catástrofe nuclear com graves liberações de radioatividade.

Com poucas exceções, os programas de extensão da vida útil de uma usina (PLEX) priorizam os aspectos econômicos em detrimento da segurança. A situação é particularmente grave já que tal programa geralmente só faz sentido econômico para proprietários de usinas se a mesma é operada durante uma ou duas décadas mais, depois de sua implementação.

Os programas de extensão da vida útil de uma usina (PLEX), de um ponto de vista econômico, são mais vantajosos que a construção de novas usinas nucleares. Mas isso não é de forma alguma verdadeiro quando a comparação é feita com outras alternativas para geração de energia, como a construção de modernas usinas a gás.

Assim, os PLEX criam uma forte pressão para manter as usinas nucleares na rede elétrica, para se garantir um retorno de investimento adequado, e para se ignorar ou minimizar os perigos do envelhecimento. Existe ainda uma forte pressão para investimento no aumento do potencial de geração de energia aliado a manutenção dos gastos com os PLEX os mais baixos possíveis.

Tudo isso está ocorrendo em um contexto econômico de liberalização do mercado de energia, uma pressão generalizada de custos e uma concorrência crescente, o que está gerando diminuição das margens de segurança, redução de pessoal e redução de esforços para a realização de inspeção e manutenção — enquanto o curso em direção ao envelhecimento das usinas nucleares requereriam exatamente o oposto.

Ao mesmo tempo, o aumento da capacidade de geração leva a uma redução das margens de segurança e a um aumento do consumo de combustível nuclear.

### ***D.1 – Vulnerabilidade das Usinas Nucleares a Atos de Terrorismo e Guerras.***

As ameaças de ataques terroristas e atos de guerra a usinas nucleares podem ser resumidos desta forma:

- Devido a sua importância para o sistema de fornecimento de eletricidade, às severas consequências da liberação de radioatividade, e a seu caráter simbólico, as usinas de energia nuclear são “alvo atrativos” para ataques tanto terroristas como militares.
- Usinas de energia nuclear poderiam ser alvos em caso de guerra se há suspeita de que existe uso militar da mesma.
- O espectro de modos possíveis de ataques é muito diverso. Ataques poderiam ser levados a cabo por ar, terra ou água. Diferentes meios ou armas podem ser empregados.
- Um ataque a uma usina de energia nuclear pode levar à liberação de radioatividade equivalente a várias vezes o que foi liberado em Chernobyl. A relocação da população pode ser necessária para grandes áreas (de até 100.000 km<sup>2</sup>). O número de mortes por câncer poderia ultrapassar um milhão.
- Medidas de proteção contra atentados são muito limitadas. Além disso, uma série de medidas concebíveis não pode ser implementada em uma sociedade democrática.
- Não há proteção contra ataques militares, particularmente se forem utilizadas armas pesadas. Considerando-se a vulnerabilidade das usinas nucleares como discutido acima, é bastante claro que a energia nuclear é parte de um caminho “de alto impacto” de fornecimento de eletricidade, e não de um caminho “de baixo impacto” e sustentável — e que o gradual fim da energia nuclear seria a melhor resposta para a ameaça terrorista.

A utilização de energia nuclear exige a construção e operação de um número relativamente pequeno de instalações grandes e centralizadas, com uma enorme concentração de capital, assim como de poder econômico e político. Sistemas “de alto impacto” de energia sempre possuem marcadas implicações militares. Essa centralização também leva a uma vulnerabilidade particular contra ataques terroristas ou relacionados à guerra.

O caminho “de baixo impacto”, com um máximo de eficiência de uso energético e o apoio em fontes renováveis, implica uma produção de eletricidade em usinas numerosas, pequenas e descentralizadas. Sistemas energéticos “de baixo impacto” e sustentáveis não estão sob suspeita de serem utilizados para fins militares e, assim, não serão alvos de ataques por razões como essa — ao contrário das

instalações nucleares. Além disso, eles são geralmente menos vulneráveis a ataques do que os sistemas “de alto impacto”.



## ***D'1.2- Vulnerabilidade a Ataques Terroristas das Usinas de Reprocessamento e Depósitos de Combustível Nuclear Usado.***

As instalações de armazenamento de resíduos radioativos e combustível nuclear usado contêm de longe as maiores quantidades de substâncias radioativas de quaisquer instalações ao longo de toda a cadeia do combustível nuclear. Combustível em tanques de resfriamento assim como rejeitos altamente radioativos (líquido ou lodo) são particularmente vulneráveis a ataques.

A principal razão para isso é que eles estão guardados de uma forma que podem ser facilmente dispersos, em instalações de armazenamento que não são projetadas para suportar a colisão de grandes aeronaves ou um ataque com armas pesadas. Instalações de armazenamento em usinas de reprocessamento contêm centenas de vezes a quantidade de radioatividade liberada como consequência do desastre de Chernobyl.

Além disso, instalações de reprocessamento armazenam dezenas de toneladas de plutônio, o qual poderia em parte ser disperso como resultado de um grande incêndio provocado por um acidente ou ataque terrorista. A inalação de poucas dezenas de microgramas (a milionésima parte de uma grama) pode provocar um câncer de pulmão letal.

O plutônio também pode ser desviado para propósitos de armamentos. Vários quilogramas são suficientes para a fabricação de um dispositivo nuclear bruto.

A situação na instalação de La Hague levanta muitas questões. A atenção pública até agora esteve focada no risco potencial dos tanques de combustível utilizado, enquanto em Sellafield o armazenamento dos resíduos líquidos altamente radioativos foi objeto de grande preocupação. No entanto, o sítio em La Hague também manteve quantidade significativa (> 1.100 m<sup>3</sup> em setembro de 2004) de rejeitos líquidos altamente radioativos sem condicionamento, um fato que não foi sujeito a nenhum estudo por parte de um especialista independente, ou a qualquer atenção pública até agora.