

Segurana nuclear
Alfredo Melina (01/1981)

SEGURANÇA NUCLEAR[†]

Alfredo Aveline^{*}

Conteúdo:

Introdução

Natureza do Problema de Segurança Nuclear

Os Reatores Nucleares e o Material Radioativo

Acidentes Com Liberação Maciça de Radioatividade

Acidentes e Incidentes Nucleares Menores

Análise do Problema de Risco de Acidentes

Experiência Acumulada Com Reatores

Conclusões

Anexo 1 - Acidentes em Usinas Nucleares

* Instituto de Física
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
90000 Porto Alegre, RS

† Versão preliminar de uma das partes do estudo organizado pela SBPC sob a coordenação do prof. José Goldemberg, sobre a questão da Energia Nuclear no Brasil. Essa versão preliminar foi concluída em 9 de janeiro de 1981.

SEGURANÇA NUCLEAR

Introdução

Quando se deseja abordar o tema de segurança nuclear, procura-se basicamente responder as seguintes perguntas:

- 1) O que é o perigo nuclear?
- 2) Há possibilidade técnica de reduzir os riscos a níveis seguros e aceitáveis?
- 3) É possível definir o que sejam níveis de segurança adequados?
- 4) Há competitividade e viabilidade econômica para exploração da energia nuclear com técnicas comprovadamente seguras?

Essas questões levantadas são, presentemente, tema de discussão no mundo todo e não há ainda clareza suficiente para uma conclusão definitiva. Uma análise cuidadosa deveria incluir, além dos aspectos ligados diretamente aos reatores nucleares, a abordagem de todo o restante do ciclo de combustível nuclear, desde a mineração até o cuidado com o lixo, passando pela etapa crítica do reprocessamento. Essa análise, no entanto, depende muito de como isso será feito no Brasil especificamente. Já existem alguns dados porém há grande número de indefinições e incertezas. Admitindo que o Brasil durante muito tempo não operará a totalidade do ciclo de combustível, esse trabalho se concentrará nos reatores nucleares, que são a origem e objetivo de toda a tecnologia nuclear, não diretamente bélica.

Natureza do Problema de Segurança Nuclear

O perigo da utilização da tecnologia nuclear na produção de energia elétrica está diretamente relacionado aos efeitos biológicos da radiação originada nos materiais manipulados

em todo o ciclo de combustível nuclear. A eventualidade de uma reação em cadeia explosiva inexistente para os reatores comerciais convencionais já que a concentração de ^{235}U no combustível é muito inferior a que seria necessária para esse evento. Os perigos potenciais, no entanto, não são por isso menores.

Como veremos com detalhe a seguir, o volume de materiais radioativos manipulados ao longo de todo o ciclo de combustível nuclear é várias ordens de grandeza maior do que o liberado pelas bombas de Hiroshima e Nagasaki, e a possibilidade de sua dispersão no meio ambiente, com os danos decorrentes à biosfera e ao Homem é a preocupação central da segurança nuclear.

Os Reatores Nucleares e o Material Radioativo

Para o funcionamento dos reatores nucleares tipo Angra-2 (ver tabela 1) que têm 1231 MW(e) como valor nominal de potência elétrica instalada, são necessárias 103,5 toneladas de combustível nuclear, que consiste basicamente de óxido de urânio (UO_2), em torno de 3% de ^{235}U . O reabastecimento desse tipo de reator é feito de tal modo que a cada 12 meses, 1/3 dos elementos de combustível é substituído. Assim, a cada ano é necessário repor 34,5 toneladas de combustível, retirando-se uma quantidade equivalente de material usado.

O inventário do conteúdo dos elementos de combustível irradiados⁽²⁾ revela que das 34,5 t iniciais restaram 33 t sob a forma de óxidos de urânio, tendo sido gerados, portanto, em torno de 1500 kg de subprodutos da fissão do ^{235}U e das reações provocadas secundariamente. Essa quantidade de material é 375 vezes maior do que a gerada pela queima de 4 kg de urânio 235 da bomba de Hiroshima, representando uma quantidade proporcionalmente maior de radioatividade. Considerando a totalidade dos elementos de combustível, a radioatividade total é, ainda, maior, justificando medidas de segurança extremas.

Na tabela 2 podemos ver uma lista parcial dos elementos gerados na operação de um reator nuclear e os malefícios potenciais especialmente associados a cada um. De modo geral, a

TABELA 1 - Dados técnicos sobre os reatores brasileiros⁽¹⁾

Reator	Potência Projetada (Elétrica)	Tamanho do Núcleo (Em metros-hxd)	Quantidade de Combustível	Número de El. de Combustível	Potência Térmica	Abastecimento de Combustível (anual)
Angra 1	622/629 MWe	3,66x2,47 m	62,1 ton	121	1876 MW _t	interrupção 30/60 dias 18,8 ton
Angra 2	1231 MWe	3,9 x 3,61 m	103,5 ton	193	3765 MW _t	interrupção 30/60 dias 34,5 ton
Reator	Vaso de contensão (forma e espessura da parede)	Vaso de contensão (dimensões)	combustível (enriquecimento)	refrigerante (material, pressão)	refrigerante (temperatura)	refrigerante (fluxo)
Angra 1	cilíndrica: 165 mm	11,227 x 3,352 m	UO ₂ /2,10 - 3,10 %	H ₂ O/158 kg/cm ²	entrada 287,3 ^o C saída 327,0 ^o C	2 x 16100 ton/h
Angra 2	cilíndrica: 250 + 6 mm	12,67 x 5,75 m	UO ₂ /1,9 - 3,2%	H ₂ O/158 kg/cm ²	entrada 291,3 ^o C saída 326,1 ^o C	4 x 16920 ton/h

TABELA 2 - Radioisótopos: dados físicos e biológicos⁽³⁾

Radioisótopo	Meia Vida	Radiação Emitida	Dados Biológicos	Meia Vida Biológica
Amerício 241	458 anos	alfa	Afeta: pulmões, ossos, rins	60-140 anos
Bário 140	13 dias	beta e gama	Afeta: pulmões, ossos, intestinos	12 dias
Carbono 14	5760 anos	beta	Afeta: todo o corpo, tecido genético	40 dias
Césio - 141	33 dias		Afeta: baço, fígado, músculos, ossos, intestinos	30-245 dias
Césio - 144	285 dias			
Césio - 136	14 dias	beta e gama	Afeta: músculos, baço, fígado	11-150 dias
Césio - 137	30 anos			
Cobalto 60	5,3 anos	beta e gama	Afeta: todo o corpo	10 dias
Iodo 129	16 milhões de anos	beta e gama	Afeta: tireóides e outros tecidos	140 dias
Iodo 131	8 dias			
Ferro 55	2,6 anos	gama	Afeta: pulmões e todo os tecidos do corpo	2 anos
Criptônio-85 (gás)	10,6 anos	beta	Afeta: pulmões, baço, tecidos	.-.
Plutônio 238	86 anos			
Plutônio 239	24000 anos	alfa	Afeta: ossos, fígado, pulmões, nódulos linfáticos, intestinos	10-200 dias
Plutônio 240	6580 anos			
Plutônio 241	13,2 dias			

TABELA 2 - Continuação

Radioisótopo	Meia Vida	Radiação Emitida	Dados Biológicos	Meia Vida Biológica
Rutênio - 103 Rutênio - 106	40 dias 1 ano	beta e gama	Afeta: pulmões, in- testinos	?
Sódio - 22 Sódio - 24	2,6 anos 15 horas	beta	Afeta: todo o cor- po, pulmões, intes- tinos	11 dias
Estrôncio 89 Estrôncio 90	51 dias 28 anos	beta e gama	Afeta: ossos, pul- mões, intestinos	4 anos
Trítio	12,3 anos	beta	Afeta: todo o cor- po	4 dias
Urânio 235 Urânio 238	710 milhões de anos 4,5 milhões de anos	alfa	Afeta: ossos, rins, pulmões	15-100 dias
Zinco 65	245 dias	beta e gama	Afeta: pulmões e fí- gado	13-200 dias

TABELA 3 - Efeitos clínicos ocasionados por curtas exposições a doses corporais de radiação⁽⁵⁾

Dose corporal Total - Rem	Efeitos clínicos (efeitos ocorrem em horas)	Incapacidade nas pessoas expostas	Mortes	Convalescência (período de tempo)	Terapia
0 - 25	Praticamente nenhum efeito a curto prazo. Ocasionalmente alterações no sangue	—	—	—	repouso
25 - 100	Pequena náusea e doença da radiação para o nível de exposição maior. Alterações no sangue	até 25%	—	7 dias	repouso, contagem de glóbulos sanguíneos
100 - 200	Claras alterações das células sanguíneas. A dose mais elevada causa queda de cabelo, ulcerações na pele, náusea, vômitos, diarreia, febre, hemorragias e grande fadiga. Problemas cardíacos em alguns.	25 a 100%	25% em 30/60 dias	até 40 dias	repouso, contagem de glóbulos sanguíneos, dieta leve, água, antibióticos
200 - 400	Os sintomas anteriores porém mais severos	100%	25-50% em 30/60 dias	várias semanas ou meses	a mesma terapia e se possível ainda, transfusões de sangue e sedativos

TABELA 3 - Continuação

Dose corpotal	Efeitos clínicos (efeitos ocorrem em horas)	Incapacidade nas pessoas expostas	Mortes	Convalescência (período de tempo)	Terapia
400 - 600	Os mesmos sintomas c/ grande intensidade logo após a exposição. A morte sobrevém em curto intervalo	100%	50-75% em 20-35 dias	muitos meses ou anos	a mesma já descrita e ainda (se possível) transplante de medula óssea
600 - 800	Todos sintomas anteriores e ainda disfunções circulatórias e do sistema nervoso central	100%	75-99% em dias	anos	o mesmo tratamento sintomático
800 - 5000	Final rápido. Colapso dos sistemas nervoso, circulatório e de vários órgãos inclusive coração	100%	100% em horas	—	Analgésicos. Ninguém suporta essa dosagem

exposição a radiação tem como conseqüências a elevação da incidência de diversos tipos de câncer, a diminuição do período de vida, a diminuição da fertilidade até a esterilidade, mutações genéticas, interrupção do crescimento, afetando, em ordem decrescente de sensibilidade o sangue, os órgãos reprodutivos, a medula óssea, o sistema gastro intestinal, a pele, os tecidos conjuntivos, os ossos, o fígado, o pâncreas, os rins, o sistema nervoso, músculos e por fim o cérebro⁽⁴⁾.

Na tabela 3 podemos ver os efeitos clínicos imediatos associados e sua evolução, de acordo com a dose corporal total a que o indivíduo é exposto. É importante observar que irradiações abaixo de 25 REM não produzem efeitos ou sinais imediatos sensíveis (e esse é um dos aspectos mais assustadores) porém, uma população submetida a esses níveis de dano radiológico, deverá apresentar uma grande elevação no número de ocorrências de diversas doenças principalmente câncer, leucemia, nódulos da tireóide. Calcula-se também que deverá ocorrer uma redução na vida média das pessoas já que a elevação na exposição, em 1 rem, acarreta estatisticamente a redução de 2,5 dias no período de vida. No caso de exposições agudas a redução do período de vida é ainda maior. Calcula-se que, nesses casos, a pessoa perca em torno de 10 dias/rem, assim, quem tenha sofrido uma exposição de 40 rem em curto espaço de tempo e se recuperado, deverá ter sua vida reduzida em 1 ano⁽⁶⁾.

Acidentes com Liberação Maciça de Radioatividade

A estimativa dos malefícios que poderiam ser causados pela liberação maciça do material radioativo contido no núcleo de um reator foi feita em várias ocasiões. Em 1957, a AEC (Atomic Energy Commission dos EUA) publicou um relatório, conhecido como WASH 740, em que se estimavam os danos causados pela liberação, em um acidente, de 50% do material radioativo de um central nuclear convencional de 500 Mw, 180 dias após ter sido reabastecida de combustível. O cálculo das conseqüências dessa perda de material radioativo ao ambiente foi feito sob várias con-

dições, mas em todos os casos computaram-se somente efeitos imediatos sobre a saúde, excluindo-se, portanto, o câncer e os efeitos genéticos. Segundo uma das possibilidades, haveria 3400 mortos, 43000 feridos, seria necessária a evacuação de uma área de 2000 km² e a agricultura seria restringida sobre uma extensão de 390000 km² (a área do Rio Grande do Sul é de 280000 km²).

O relatório seguinte da AEC, publicado em 1965, cita razões pelas quais o dano poderia ser ainda maior. O aumento crescente da potência nominal das centrais, da duração do combustível no reator e da tendência em localizar centrais em zonas densamente povoadas são algumas dessas razões. O relatório também enfatiza que "a análise de um grande acidente envolvendo a justaposição das perspectivas mais pessimistas de cada um dos numerosos aspectos concluiria pela existência de enormes riscos potenciais".

Em agosto de 1974, a AEC publicou o relatório preliminar de um novo estudo de avaliação do tema de segurança nuclear (draft Wash 1400)⁽⁷⁾, conhecido como relatório Rasmussen. A partir desse relatório e do estudo imediatamente posterior feito pela American Physical Society⁽⁸⁾ pode-se chegar a estimativas de danos humanos e danos à propriedade dentro de vários cenários mas, principalmente, evidenciou-se a grande imprecisão numérica desses estudos e sua grande sensibilidade a variações das condições iniciais propostas no cálculo. Isso também ficou evidenciado na análise da versão final do Relatório Rasmussen (Wash 1400)⁽⁹⁾, vinda a público em outubro de 1975, assim como em outros relatórios posteriores, como o realizado sob o patrocínio da Fundação Ford⁽¹⁰⁾ e publicado em 1977, e o relatório da Comissão Presidencial sobre o acidente de Three Mile Island, publicado em outubro de 1979⁽¹¹⁾.

Na tabela 4 vemos a estimativa de um acidente julgado extremamente grave segundo o relatório Wash 1400 (esse acidente não é o mais grave imaginável, mas o mais grave que se julga possível visto que acidentes mais graves, segundo este estudo, teriam probabilidades extremamente pequenas de ocorrer).

TABELA 4 - Conseqüências de um acidente extremamente grave
(Wash 1400)

Danos	Taxa	Total Estimado
Mortes imediatas		3300
Enfermidades imediatas		45000
Nódulos na tireóide	8000/ano	240000 (30 anos)
Mortes devido a câncer	1500/ano	45000 (30 anos)
Defeitos genéticos	200/ano	30000 (15 anos)
Perdas econômicas devido à contaminação		US\$ 14 bilhões
Área de descontaminação		3200 mi ² (8192 km ²)

Segundo o mesmo relatório, acidentes menores também causariam elevado número de vítimas. Assim, um acidente com 110 vítimas fatais imediatas, acarretaria a ocorrência de 70.000 nódulos não malignos na tireóide e 31.000 malignos, e um acidente com no máximo uma única vítima fatal imediata, acarretaria 30.000 nódulos na tireóide não malignos e 13.500 malignos, além de 5.000 mortes por câncer.

Esses dados revelam bem a importância do tema segurança nuclear, e a importância de que tudo funcione bem. No entanto, os valores numéricos absolutos pouca importância efetiva apresentam, visto o grande número de incertezas e suposições arbitrárias que precisam ser feitas para a realização desses cálculos. Para que se tenha uma idéia mais precisa da origem das incertezas nesses cálculos, temos a seguir uma listagem de alguns desses aspectos.

As condições meteorológicas no momento do acidente como velocidade e direção do vento e as condições de pressão nas várias camadas atmosféricas sobre a região, determinam a dispersão e diluição do material na atmosfera. Sob condições favoráveis o material se elevará às camadas superiores de atmosfera dispersando-se de modo a reduzir o dano imediato sobre a população. No outro extremo temos a possibilidade do material permanecer a baixa altura e ser levado a áreas de elevada densidade po

pulacional.

Isso mostra também que a questão da distribuição de população em torno das usinas (dado incerto que depende da localização de cada uma) é um aspecto determinante na avaliação dos danos.

Outro aspecto fundamental é o das condições de evacuação. Em uma área que tenha tido o solo contaminado, a população estará sob o efeito da radioatividade permanentemente, com doses cumulativamente crescentes ao passar o tempo. Considerando este aspecto, há fatores de correção de até 25. O cálculo de mortes de câncer devido a um acidente extremamente grave feito no relatório "draft Wash 1400", por exemplo, foi de 310 casos, enquanto que os cálculos da American Physical Society chegaram a 10.000 mortes, simplesmente por considerar esses danos adicionais⁽⁸⁾.

Incertezas existem também quanto as frações dos diversos materiais radioativos presentes no núcleo que seriam liberadas. Esses valores dependem das seqüências dos acidentes, dos eventos detonadores e da severidade dos danos na contenção e no núcleo do reator. Também a probabilidade de cada uma dessas seqüências e seu dano final são difíceis de estimar, trazendo por sua vez a necessidade de suposições nem sempre realísticas.

Os resultados do relatório final Wash 1400, na parte de danos (ver tabela 4), é uma média dos cálculos para acidentes semelhantes com cada uma das 100 usinas nucleares que estavam projetadas, em construção ou em operação nos EUA em 1974. Os valores extremos desse quadro apresentavam diferenças com fatores até maiores de 250, o que revela bem o grau de incerteza desse tipo de avaliação⁽¹²⁾.

Como fonte adicional de incertezas estão os danos biológicos causados pela radioatividade. O efeito de baixas doses sobre uma população dispersa é ainda um tema muito discutido⁽¹³⁾ e de fundamental importância para o cálculo dos efeitos da diluição do material radioativo e portanto também para a fixação dos critérios de evacuação. O mecanismo de atuação dos diversos radionuclídeos nos ciclos biológicos, e sua passagem ao homem através da alimentação e sua atuação no corpo humano são também

campo para pesquisas adicionais. Como exemplo dessas incertezas, podemos citar o fato de que os mineiros americanos brancos apresentaram sensibilidade claramente maior ao câncer pulmonar do que os mineiros índios americanos para tarefas em minas de urânio onde estão expostos à radioatividade de vários elementos⁽¹⁴⁾.

Além desses fatores reconhecidos como fontes de imprecisão, teremos ainda fatores adicionais não imaginados nesses estudos e que são durante eventos reais serão percebidos. Durante o acidente com a usina de Three Mile Island-2 em março de 1979, por exemplo, ficou evidenciado que um ponto crítico é o conhecimento dos níveis reais de comprometimento do meio ambiente ao longo do tempo, e que o monitoramento da radioatividade nem sempre é preciso e bem interpretado. Durante esse acidente em um certo momento, devido a interpretações aparentemente errôneas, funcionários da NRC* recomendaram a evacuação imediata de Harrisburg por parte das crianças e mulheres grávidas. Nos dias seguintes discutiu-se também a evacuação total devido às incertezas se a bolha de hidrogênio formada no interior do reator explodiria ou não. Uma outra consequência que não deve ser desprezada é o grande esgotamento físico e psicológico a que está exposta a população, como aconteceu, na cidade de Harrisburg, com a ameaça constante do acidente, da evacuação, das consequências futuras, e com a incerteza sobre perigos reais a que estariam expostos. O relatório da Comissão Presidencial que estudou o acidente assinala que o maior dano pessoal no acidente de TMI foi o esgotamento psicológico das pessoas, no entanto, com base em levantamentos epidemiológicos realizados pelo Dr. Sternglass⁽¹⁵⁾, evidenciou-se uma significativa elevação de mortes de bebês recém nascidos, atribuídas a imaturidade ao nascimento. Segundo o trabalho (que foi imediatamente contestado por setores oficiais do governo americano da indústria nuclear e acadêmicos⁽¹⁶⁾) essas mortes se devem a ingestão por parte das mães de iodo radioativo que chegando à tireóide dos fetos teria causado seu mal funcionamento e, conseqüentemente, o insuficiente desenvolvimento do bebê ao nascer.

* NRC - Nuclear Regulatory Commission - EUA.

Abstraindo-se dessas questões técnicas, há um fator que também tem trazido descrédito a essas estimativas; é a sua parcialidade frente a polarização do debate sobre a utilização ou não da energia nuclear. O relatório Wash-1400 (Relatório Rasmussen), que foi o grande instrumento tranquilizador da opinião pública quanto aos perigos da geração de energia nuclear-elétrica, tem sido acusado de tendencioso, impreciso, de levar ao público informações deliberadamente manipuladas com sentido de proteger a indústria nuclear e de estar representando interesses de hoje extinta Atomic Energy Commission dos EUA. De fato, após uma reavaliação sobre o tema de segurança de reatores feita pela Comissão de Normas Nucleares dos EUA (NRC) entre 1977 e 1979, o relatório Rasmussen foi considerado não confiável em sua parte numérica quanto a estimativa de riscos globais de um acidente nuclear⁽¹²⁾.

No mesmo documento (dado a público em 19 de janeiro de 1979, 40 dias antes do acidente de Three Mile Island) a NRC retirou todo e qualquer endosso da agência, implícito ou explícito ao "Executive Summary" (a parte do relatório Rasmussen mais lida pelo público em geral), que teria segundo a NRC, sido usado para confundir a discussão sobre os riscos dos reatores⁽¹²⁾.

Uma das conclusões finais da Comissão Presidencial que estudou o acidente de Three Mile Island exemplifica bem o grau de incerteza atual: "Recomendamos fortemente um urgente estudo para identificar e analisar as possíveis consequências de acidentes com danos sérios do núcleo do reator. Esse conhecimento é essencial para a comparação com resultados de futuros acidentes". Essa afirmação revela também, implicitamente, uma convicção de que novos acidentes poderão ou deverão ocorrer.

Acidentes e Incidentes Nucleares Menores

Até pouco tempo a preocupação primordial dos estudos de segurança nuclear estava centrada nos malefícios dos grandes acidentes, e fora os grandes acidentes assumia-se que as usinas funcionariam perfeitamente.

Isso, no entanto, não representa a realidade. O número de acidentes menores e de incidentes potencialmente graves atinge anualmente números bastante elevados, havendo, em muitos casos, inclusive liberação de material radioativo acima dos níveis máximos julgados seguros. Somente em 1974, nos EUA, o "Nuclear Safety Information Center" registrou 1878 ocorrências relacionadas com a segurança dos reatores nucleares, com diferentes graus de gravidade ⁽¹⁷⁾.

Na Alemanha Federal, a partir de documentos elaborados pela Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS) (que é a associação alemã para segurança de reatores) a pedido do ministro do interior foram avaliadas estatisticamente as interrupções no funcionamento dos reatores alemães no período de 1965 a 1977, chegando-se a números surpreendentes ⁽¹⁸⁾. Somente no ano de 1976 houve um incidente a cada três dias, totalizando 139 ocorrências. Esses incidentes foram divididos em três categorias segundo sua gravidade: A categoria A inclui ameaça direta a segurança através da emissão de radioatividade acima dos limites máximos permitidos e quebra de componentes do circuito primário com emissão de radioatividade e ou perda de refrigerante; a categoria B inclui emissão abaixo dos limites permitidos e quebra de componentes relacionados a segurança, e na categoria C estão os incidentes de qualquer tipo que afetem o funcionamento normal do reator ou as condições de segurança. No ano de 1976, dos 139 acidentes, 24 foram incluídos na categoria A (um acidente importante a cada 15 dias!), 85 na categoria B ($0,85 \cdot 10^2$ liberações, ou seja, 1 liberação a cada 4,5 dias, mesmo que abaixo dos níveis máximos podem resultar, cumulativamente em valores importantes) e 30 na categoria C.

Esses dados revelam a importância das preocupações com segurança nuclear e a necessidade de reavaliar o impacto ambiental dos reatores incluindo esse aspecto novo dos "acidentes ou incidentes rotineiros", e portanto, abandonando a idéia de que a ameaça dos reatores está presente apenas nos grandes acidentes. No anexo I, há listagem parcial de um grande número de acidentes e incidentes nucleares em todas as etapas do ciclo de combustível, que embasam fortemente essas conclusões.

Análise do Problema de Risco de Acidentes

A questão do dimensionamento dos riscos de acidentes na operação de todo o ciclo de combustível nuclear e, mais particularmente dos reatores nucleares, é uma das questões centrais para a aceitação dessa tecnologia. Esse tema assumiu importância decisiva a partir do relatório Rasmussen que foi divulgado pela Atomic Energy Commission dos EUA (AEC) em 1974 e 1975. Nesse trabalho se procurava mostrar pela primeira vez que mesmo as consequências de um acidente nuclear sendo potencialmente muito graves, os riscos de tal evento seriam muito pequenos e as centrais nucleares poderiam perfeitamente ser usadas em grande escala. O relatório citado fez assumir grande intensidade a polêmica sobre o tema e outros estudos se sucederam, analisando criticamente, as diversas suposições e metodologia empregados para chegar as conclusões mencionadas.

Além desse trabalho todo que se desenvolveu intensamente até março de 1979 e ficou praticamente orbitando em torno do universo de alternativas proposto no relatório Rasmussen, aconteceu um fato novo. Esse fato novo, o acidente de Three Mile Island, iniciado no dia 28 de março de 1979, veio deslocar o centro da análise. A abordagem que faremos a seguir não é um relato completo e minucioso das discussões havidas sobre o tema, pois já existe grande diversidade de trabalhos nesta linha^(7-10,12), o objetivo é reavaliar o tema e o debate sobre os reatores dentro de uma ótica pós-Three Mile Island.

Os projetos de reatores foram condicionados desde sua origem aos problemas de segurança, ou seja, aos problemas de manter o material radioativo contido, impedindo-o de chegar ao meio ambiente. Uma observação cuidadosa desse processo permite ver que a análise detalhada de todos eventos ligados à segurança imagináveis (o que não necessariamente inclui todos os possíveis!) é feita desde o início.

A partir dos resultados dessa análise são projetados mecanismos de segurança múltiplos e garantidos por redundância no equipamento, de modo a operação do reator cercar-se da maior

segurança já no projeto. Detalhes desse processo podem ser encontrados na bibliografia, assim como descrições detalhadas dos eventos estudados, suas seqüências e probabilidades, inclusive em relatórios anteriores da própria SBPC^(19,20).

O relatório Wash 1400 (relatório Rasmussen) calculou, a partir desses eventos imaginados, qual a probabilidade da ocorrência do maior acidente possível (que seria a fusão do núcleo) e qual a probabilidade de, nesse evento ocorrerem danos humanos ambientais e à propriedade importantes. Os valores encontrados, 10^{-4} reator/ano para a fusão do núcleo e 10^{-5} reator/ano para a ocorrência de mais de 3000 mortes imediatas foram acirradamente discutidos, confirmados e contestados por muitos estudos posteriores. A crítica aos resultados se baseava nos seguintes pontos:

1. É difícil quantificar acuradamente a probabilidade de que qualquer dos eventos detonadores de acidentes ocorra, sendo necessária maior experiência e pesquisa antes que os cálculos sejam confiáveis. É importante que a possibilidade de ocorrência simultânea de que mais de um evento detonador seja considerada também⁽⁸⁾.
2. A experiência acumulada com cálculos desse tipo, com probabilidades baixas, não permite que se tenha confiança nos valores absolutos, apenas os valores relativos das probabilidades dos diversos eventos podem ser aclarados pelos métodos utilizados (árvore de eventos e árvore de falhas)⁽⁸⁾.
3. A designação de acidentes de referência para os projetos de reator é importante porque representam seqüências que necessitam ser estudadas, no entanto, preocupa o fato de que a partir daí outras seqüências e outros acidentes possíveis possam receber menor atenção no projeto, construção, licenciamento e operação^{*(8)}.
4. Os equipamentos de emergência, uma vez que raramente são usa

* O grifo é para ressaltar o caráter de antecipação dessa recomendação frente ao que ocorreu em Three Mile Island.

dos em condições reais de necessidade não podem apresentar experiência acumulada suficiente para serem tidos como confiáveis⁽⁸⁾.

5. Os erros humanos, dependentes de condições emocionais, psicológicas assim como da qualidade do treinamento, principalmente em condições de emergência, e dependentes ainda do cuidado com que a experiência passada é incorporada aos procedimentos, introduzem imprecisões que podem invalidar totalmente as estimativas, mesmo considerando o já elevado grau de automatização do controle dos reatores⁽⁸⁾.

Não se pode surpreender, de fato, com os valores aparentemente baixos encontrados no estudo da AEC (Wash 1400). O trabalho foi todo realizado estudando-se seqüências segundo as linhas imaginadas para elaboração dos projetos, linhas essas que, portanto, haviam recebido em todas as suas etapas, cuidadosos esquemas de segurança com elevada redundância. Assim, a conclusão a partir dessa análise, é que apenas acidentes que sigam as linhas de evolução dos eventos previstos nos projetos tem "probabilidade baixa" de ocorrer*.

A grande controvérsia quanto aos resultados do relatório Rassmussen, tanto na parte de riscos de acidentes como de danos resultou, como mencionado anteriormente, em uma reavaliação desse estudo pela Nuclear Regulatory Commission (NRC) dos EUA.

A partir desse trabalho, foi fixado o posicionamento oficial da NRC, que passou a considerar não confiáveis os resultados numéricos do relatório Rassmussen na parte de riscos de acidentes e danos. A justificativa foi a grande complexidade do

* Essa expressão "probabilidade baixa", tem que ser entendida com cuidado. Com o número atual de reatores operando no mundo todo (<200), a probabilidade seria baixa. No entanto, a utilização maciça de reatores, como programado e desejado em outras épocas, mostram que esses valores podem se tornar importantes⁽²¹⁾.

sistema (reator nuclear) onde se torna difícil qualquer avaliação, inclusive com o método da árvore de falhas/eventos⁽¹²⁾.

O acidente de Three Mile Island, à parte do estudo das seqüências hipotéticas, trouxe à luz uma série de aspectos muito importantes que não haviam sido percebidos anteriormente.

As constatações, conclusões e recomendações da Comissão Presidencial dos EUA que estudou o referido acidente⁽¹¹⁾, estão resumidos parcialmente nos seguintes pontos:

1. Nos estudos anteriores sobre falhas possíveis e eventos associados houve muita ênfase nas grandes falhas seguidas de perda de refrigerante (LOCA), no entanto, grandes acidentes podem ocorrer via pequenas falhas, como ficou evidenciado na seqüência de TMI (Three Mile Island).
2. As grandes falhas podem ser mais facilmente relacionadas e estudadas, e seu controle pode ser exercido com maior facilidade via equipamentos automáticos. As pequenas falhas, tem potencialmente, uma diversidade muito maior, além do mais, os eventos evoluem mais vagarosamente e exigem correta atuação dos operadores.
3. As pequenas falhas podem, com muito maior freqüência, aparecer de modo simultâneo e independente, exigindo grande atenção em seu estudo.
4. É necessário deslocar a ênfase do cuidado de segurança, dos equipamentos para os operadores.
5. A experiência vivida em acidentes não catastróficos nem sempre é levada a sério. Uma falha semelhante a ocorrida em TMI foi detectada um ano e meio antes em um outro reator. O relatório da B&W (empresa construtora de TMI e dessa usina) que foi publicado 13 meses antes do acidente de TMI, enfatizava a necessidade de que instruções específicas fossem incorporadas às normas de procedimento de modo a evitar esse tipo de seqüência de eventos. Isso de fato não chegou a ser feito.
6. O painel de controle que, em condições normais de operação é satisfatório, no evento de um acidente torna-se totalmente

inconveniente. Durante os primeiros minutos do acidente, mais de cem alarmas soaram sem que houvesse qualquer indicação de prioridade entre eles, deixando os operadores quase sem ação. Da mesma forma informações importantes durante um acidente, mas sem sentido em condições normais não podiam ser extraídas com facilidade do painel.

7. O treinamento do pessoal, mesmo dos operadores "senior" foi considerado insuficiente para confusa seqüência de eventos ocorrida. A Comissão Presidencial concluiu que o treinamento, ainda que adequado à operação normal do reator, foi insuficiente no que se refere a seqüências acidentais. Ainda foi constatado que o simulador onde são treinados os operadores, não estava programado para a seqüência de eventos de TMI, e que além disso, não há treinamento para lidar com falhas simultâneas e independentes.

Hã ainda duas conclusões fundamentais feitas pela Comissão Presidencial, e que desautorizam totalmente qualquer cálculo de probabilidades: a primeira é que, devido ao quadro de treinamento inadequado, painéis inadequados e características inerentes ao reator, a ocorrência de um acidente como esse seria "virtualmente inevitável" (essa afirmação se choca frontalmente com as conclusões do relatório Rassmussen, e permite perceber sua fragilidade pois fatores como esses apontados não foram considerados); a segunda é ainda mais importante, textualmente: "apesar de em todo o documento nós enfatizarmos a necessidade de prevenir a ocorrência de acidentes tão sérios como TMI, não podemos aceitar que um acidente como esse não vá ocorrer novamente, mesmo se as modificações recomendadas forem executadas".

Essas duas últimas afirmações revelam claramente a incerteza inerente às especulações teóricas frente a probabilidade de ocorrência de eventos e portanto, a imprecisão dos valores numéricos que possam ser extraídos de análises de segurança. Esses estudos são importantes na melhoria das condições de segurança, mas, pela própria natureza do problema, a quantificação de riscos e danos é ociosa e enganosa.

Experiência Acumulada com Reatores

Na medida em que cresce com força a consciência da dificuldade em estimar numericamente, com precisão conhecida a segurança dos reatores nucleares, torna-se mais importante analisar cuidadosamente os dados experimentais sobre o problema, basicamente o funcionamento real dos reatores nucleares em todo o mundo.

Uma análise como seria desejável, com detalhes do funcionamento, problemas, acidentes e incidentes de cada reator não pode ser feita sem um grande esforço de trabalho direto e de busca de informações. Essas informações não são muito fáceis de encontrar e em muitos casos os responsáveis pelo setor nuclear liberadamente evitam de leva-las a público. Faremos aqui uma compilação a partir de dados em bruto publicados na Revista Nuclear Engineering International, de Londres⁽²²⁾, buscando elaborar tabelas e gráficos de modo que os vários aspectos do problema possam ser mais facilmente interpretados.

Com o objetivo de obter uma visão panorâmica sobre o funcionamento de todas as centrais nucleares no mundo todo, incluindo a URSS, desde os primeiros modelos, dividimos as centrais existentes em três categorias diferentes: as centrais em funcionamento, as centrais com funcionamento interrompido e as centrais fechadas definitivamente.

Das 230 centrais nucleares existentes (em julho de 1980) no mundo todo que chegaram a operar alguma vez (excluindo-se, portanto, as anunciadas, as em construção e as projetadas), 204 estão em operação e 26 fechadas definitivamente. Das 204 centrais em operação, 145 estão funcionando (produzindo energia) e 59 com o funcionamento interrompido por várias razões. Nas tabelas 5, 6 e 7, podemos ver detalhes sobre as centrais de cada categoria.

Na tabela 5, temos as centrais que em julho de 1980 estavam funcionando efetivamente. Esse número flutua constantemente devido a interrupções de vários tipos a que frequentemente os reatores estão sujeitos, à entrada em funcionamento de novos reatores e ao fechamento de outros.

TABELA 5 - Centrais em funcionamento (julho 1980)⁽²³⁾

Tempo de Operação (Anos)	Nº de Centrais	Potência Média (MWe)
0-5	56	784
6-10	46	697
11-15	20	292
16-21	23	159
	total	145

Na tabela 5 chama atenção o fato de que das 145 centrais nucleares, nenhuma ultrapassou 21 anos de operação (a mais antiga é a de Calder Hall com 184 MWe de potência e 19% de eficiência, moderada a grafite), estando portanto longe dos 35 anos que é a duração prevista em projeto para os reatores atuais.

A experiência acumulada é ainda menor para os reatores mais atuais, de potência maior: há em todo o mundo 102 centrais com tempo de operação menor ou igual a 10 anos e sua potência média está situada um pouco acima de 700 MWe, dessas, 56 centrais operaram até 5 anos.

Uma centena de reatores operando já há vários anos, mesmo que ainda longe dos 35 anos de sua vida útil projetada, sugere uma certa confiabilidade na tecnologia nuclear. Isso, no entanto, é contrabalançado com o fato de que o funcionamento desses reatores tem sido frequentemente bastante irregular. Os fatores de carga para os vários conceitos de reatores (Magnox, PWR, PHWR, BWR), que representam as médias anuais de produção de energia em relação aos valores projetados são muito baixos situando-se em torno de 60%, o que revela bem as dificuldades técnicas constantes enfrentadas⁽²⁴⁾.

Na tabela 6 podemos ver centrais que em julho de 1980 estavam paradas há mais de 4 meses. Esses dados são também um reflexo dos frequentes problemas nos reatores. As centrais paradas não são sempre as mesmas, mas constantemente há um número significativo de centrais ou com problemas técnicos ou em manu-

tenção prolongada devido a defeitos inesperados ou ainda em conserto devido a pequenos acidentes inclusive com contaminação. Nessa tabela estão também reatores que possivelmente jamais voltem a operar: há 22 reatores parados a mais de 4 anos, muitos deles são experimentais, porém vários são de potência elevada.

O número total de centrais com funcionamento interrompido (59) é bastante significativo em relação às que estão funcionando (145), representando 29% das centrais em operação no mundo todo.

TABELA 6 - Centrais nucleares com funcionamento interrompido⁽²³⁾

Ano da interrupção	Nº de Centrais	Potência Média	Observações
1965/66	02	85 MWe	-
1969/70	03	193 MWe	-
1971/72	05	128 MWe	-
1973/74	08	272 MWe	excluído navio
1975/76	04	568 MWe	excluído reator experi mental de potência zero
1977/78	26	573 MWe	-
1979/80	11	700 MWe	excluído navio
	total 59		

Na tabela 7 vemos as Centrais Nucleares desativadas definitivamente. Em sua maioria são centrais experimentais de baixa potência, havendo, no entanto, centrais de maior potência como a de Gundremmingen (237 MWe) que foi encerrada após seu segundo acidente.

No primeiro acidente morreram dois técnicos que faziam manutenção sem o suficiente cuidado e foram atingidos por vapor superaquecido⁽²⁵⁾.

TABELA 7 - Centrais Nucleares fechadas definitivamente⁽²³⁾

Tempo de Operação (anos)	Nº de Centrais	Potência das Usinas (MWe)
0-2	4	100,75,11, 0,75
3-5	7	59,25,22,20,17,17,5
5-12	12	257,237,70,61,50,10, 9,5,4,3,0 navio
13	1	13
16	1	5
18	1	6
	total 26	

Centrais PWR

A opção das últimas administrações federais brasileiras por reatores a água pressurizada (PWR) e o acordo de compra e de transferência de tecnologia com a Alemanha Federal, torna de especial interesse a avaliação da experiência acumulada nessa tecnologia especificamente.

Na tabela 8 temos a listagem de todos os reatores PWR cuja potência é superior a 1000 MWe (como nos reatores do acordo Brasil-Alemanha) existentes em todo o mundo. Apenas 11 reatores estão nessa categoria.

Como se pode ver dos dados da tabela, o funcionamento desses reatores tem sido muito insatisfatório. O fator de carga médio é de tão somente 52,2%, o melhor reator tem fator de carga acumulado de 69,4%.

O reator que opera há mais tempo (Zion 1) completou 7 anos de operação em julho 80 e tem fator de carga muito baixo, 54,8%.

Importante também é verificar que os 11 reatores foram fabricados por 6 diferentes companhias, e que a companhia que mais construiu reatores PWR (>1000 MWe) não fez mais de três reatores (KWU), sendo que duas companhias construíram apenas 1 reator com essas características.

TABELA 8 - Reatores a Água Pressurizada (PWR) - com potência maior que 1000 MWe⁽²³⁾.

Nome	País	Potência (MWe)	Início de Operação	Fator de Carga Acumulado até Julho 80 ⁽²⁴⁾	Informações Sobre Funcionamento	Principal Fabricante
Zion 1	EUA	1040	julho 73	54,8%	Em 1978 não funcionou	Com. Ed.
Biblis A	Alem.	1140	março 75	59,4%	Pequenos defeitos	KWU - Hochtief
Zion 2	EUA	1040	novembro 73	52,3%	Operação constante	Com. Ed.
Donald Cook 1	EUA	1054	fevereiro 75	62,7%	Operação constante	AEPS
Trojan	EUA	1095	janeiro 76	39,9%	Funcionamento interrompido de fevereiro 78 a janeiro 79	West
Salem 1	EUA	1090	janeiro 77	42,7%	Paradas longas em 77,78,79 e 80	UEC
Biblis B	Alem.	1240	julho 76	54,5%	Operação constante	KWU - Hochtief
Unterweser	Alem.	1230	novembro 79	69,4%	Operação constante	KWU
Ohi, Kepco 1	Japão	1120	fevereiro 79	23,8%	Duas paradas no período	West/MHI/MELCO
Donald Cook 2	EUA	1093	março 79	60,9%	Operação constante	AEPS
Ohi, Kepco 2	Japão	1120	dezembro 79	53,9%	Operação constante	Mitsubishi Co.

CÓDIGOS DOS FABRICANTES:

Com. Ed. - Commonwealth Edison Co. (EUA)

AEPS - American Electric Power Service

West - Westinghouse Electric Corp.

UEC - Union Electric Co.

KWU - Kraftwerk Union AG (Alem.)

A França tem 9 reatores PWR operando, porém nenhum com potência maior que 1000 MWe, os fatores de carga desses reatores é também baixo, sendo que a média dos valores acumulados é de 50,66%. Um reator mais antigo, do tipo PWR começou a operar em 67 e é de pequena potência (Choss-320 MWe) todos os outros PWR franceses tem potências acima de 900 MWe sendo que o mais antigo está operando há apenas 3 anos. A média do fator de aproveitamento dos reatores mais recentes é tão somente 49,6%. Apesar desses comportamentos insatisfatórios, a França é hoje o país que mais confiança e esforço dedica ao setor nuclear.

Esses dados todos permitem ver que as Centrais Nucleares, no atual estágio de desenvolvimento da tecnologia, não apresentam confiabilidade no seu projeto, sob o ponto de vista de produção, segurança e rentabilidade econômica, isso devido a pequena experiência acumulada, ao grande número de problemas surgidos, aos baixos fatores de aproveitamento, e a diversidade de projetos.

Os problemas de vários tipos surgidos já há uma década, principalmente econômicos, técnicos e políticos tem levado a progressiva e constante queda na ênfase dos governos de todo o mundo no setor nuclear. Isso pode ser constatado na figura 1 que mostra o número de centrais nucleares que tiveram sua construção iniciada no mundo todo ano a ano.

Observa-se que após 1968 esse número decresceu dramaticamente de 33 a apenas um reator em 1979 e um em 1980, tendo a maior queda ocorrido justamente após 1973 quando se deveria esperar o contrário devido a crise do petróleo. Paralelamente observa-se o surgimento das Centrais Nucleares que após terem sido anunciadas há alguns anos são desistidas; o número dessas cresce a partir de 1973 e chega ao máximo em 78. Após 1976 o número das centrais desistidas tem sido sempre maior do que o das centrais que tiveram sua construção iniciada, o que, de modo geral pode ser interpretado como falta de confiança dos governos de todo o mundo na tecnologia nuclear nessa época de incertezas. Esse quadro é fortemente confirmado pelas citações encontradas no anexo 1 sobre acidentes e incidentes já ocorridos, em todas as partes do mundo e em todas as etapas do ciclo de combustível.

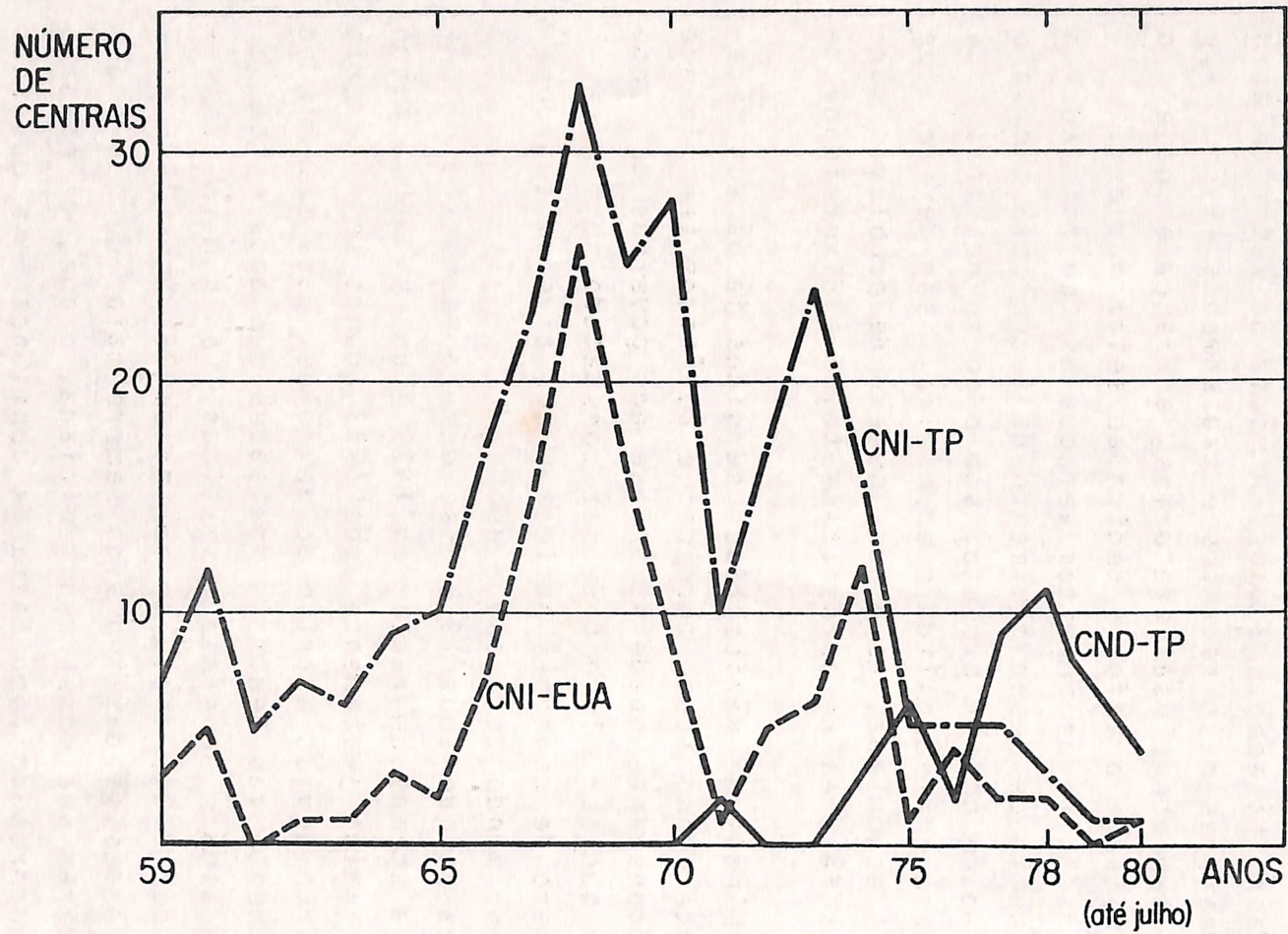


Fig. 1 - Centrais nucleares iniciadas a cada ano em todo o mundo (CNI-TP) e nos Estados Unidos (CNI-EUA), e centrais nucleares desistidas após anúncio em todo o mundo (CND-TP), ano após ano, de 1959 a 1980⁽²³⁾.

Conclusões

Das quatro perguntas propostas na introdução, nenhuma tem uma resposta clara e indiscutível.

As dúvidas sobre os efeitos biológicos da radiação de baixo nível e a grande diversidade de formas possíveis de contaminação radioativa por acidentes grandes e pequenos torna muito difícil definir com clareza a extensão do perigo nuclear e propor níveis de segurança adequados. Isso também dificulta sobre maneira qualquer análise sobre a viabilidade técnica e econômica da energia nuclear, o que é agravado pela pouca experiência acumulada pelos reatores até o momento.

Os baixos fatores de carga, especialmente dos reatores PWR com potências entre 900 e 1300 MWe, quer sejam americanos, alemães, franceses ou japoneses associados com o grande número de acidentes e incidentes que ocorrem constantemente (ver anexo I), assim como a grande diversidade de construtores e o pequeno número total de reatores desse tipo funcionando, reforça a conclusão geral de falta de maturidade da tecnologia nuclear no momento, o que por sua vez é um argumento adicional importante para justificar um elevado grau de desconfiança na segurança nuclear.

A segurança nuclear sente, necessariamente, a influência de fatores locais, principalmente no que diz respeito aos fatores humanos. Em um país onde a população em geral convive com elevados índices de insegurança em áreas várias como criminalidade, transportes, alimentação, contaminação ambiental, terão seus habitantes, seus administradores e seus técnicos suficiente sensibilidade? É bem claro que o grau de abstração necessário para entender e sentir o perigo nuclear é bem maior do que para o perigo dos assaltos do desemprego, fome, seca, enchentes, atropelamentos, doenças ou mesmo para o perigo dos problemas ambientais como os de Cubatão com seus gritantes e densos rolos de fumo. A atitude frente ao problema da segurança nuclear foi um dos pontos enfatizados no relatório da Comissão Presidencial dos EUA sobre o acidente de TMI, que considerou negligente sob muitos aspectos o procedimento da administração nu-

clear daquele país assim como o procedimento da companhia que operava a central de TMI.

No Brasil o panorama se apresenta sem perspectivas otimistas por uma série de decisões precipitadas e atitudes públicas preocupantes por parte das administrações do setor ao longo dos últimos anos. Isso pode ser exemplificado já pela forma como foi realizado o acordo com a Alemanha, pela escolha de um local geologicamente inadequado para os reatores Angra 2 e 3, pelos anúncios precipitados de locais para localização de lixo radioativo de baixa atividade, pelo evento de Itú e principalmente pela atitude pública dos administradores em negar os riscos e perigos dos reatores e da radioatividade como tem ocorrido ultimamente no Brasil⁽²⁶⁾.

É indispensável para a segurança nuclear que os acidentes sejam encarados pelos técnicos da área como possibilidades reais e não como exercícios de imaginação, e que essas possibilidades sejam estudadas com base nas condições geográficas, meteorológicas e ecológicas brasileiras.

A análise do problema de segurança, no Brasil especificamente, deve incluir também um cuidadoso estudo de todo o ciclo de combustível nuclear. Os itens referentes a reprocessamento, fabricação do combustível e especialmente mineração, transporte, armazenamento e cuidados com resíduos tem muita influência local e são contínuas fontes de preocupação pelos perigos inerentes à manipulação desses materiais.

Uma ampliação dessa discussão, indispensável para que se possa analisar corretamente o tema, é ver a energia nuclear dentro de um contexto global, brasileiro e mundial, onde se possa compará-la em custos e benefícios com outras formas de energia e se inclua na análise valores sociais, humanos, culturais e políticos.

ANEXO 1

Acidentes em Usinas Nucleares

1952. Windscale - Inglaterra

Sobreaquecimento espontâneo⁽⁵⁵⁾.

1957. Windscale - Inglaterra

Uma ligeira imprudência de operação provoca sobreaquecimento do reator. Um elemento combustível tomba, outros atingem seu ponto de fusão. O reator é inundado. Há uma forte emissão de radioatividade, correspondente à 1/10 da radioatividade liberada pela bomba de Hiroxima. Uma nuvem radioativa atinge a Dinamarca. Proíbe-se o consumo de leite numa faixa até 500 km ao redor da usina. Seiscentas toneladas diárias de leite tem de ser eliminadas. Em Londres a radioatividade sobrepassa em 20 vezes o seu valor normal^(32,55).

1952. Chalk River - Canadá

Erro de operação de um técnico. Sobreaquecimento e perda de água pesada com a liberação de grande quantidade de material radioativo na atmosfera e na água⁽⁵⁵⁾.

1958. Chalk River - Canadá

Incêndio de um elemento combustível⁽⁵⁵⁾.

1954. Idaho Falls - EUA

Explosão do reator Borax⁽⁵⁵⁾.

1961. Idaho Falls - EUA

Explosão, três mortos, diversos contaminados^(49,55).

1955. Arco Idaho - EUA

Fusão do núcleo do reator super-regenerador experimental ERB⁽⁵⁵⁾.

1958. Vinca - Iugoslávia

Acidente do reator experimental RB, 1 morto⁽⁵⁵⁾.

1958. Los Alamos III - EUA

Acidente de criticalidade, 1 morto⁽⁵⁵⁾.

1961. Sverdlovsk - URSS

Explosão em reator⁽⁵⁵⁾.

1969. Grundremmingen - Alemanha

Rupturas de pás de turbinas causadas por erosão devida à radioatividade⁽⁵⁵⁾.

1975. Grundremmingen - Alemanha

Morreram dois técnicos nesta usina quando estavam reparando uma válvula. O circuito devia estar despressurizado, mas a válvula de segurança que deveria garantir isso não funcionou, assim, quando eles abriram a válvula danificada, foram atingidos por vapores a altas pressões e temperaturas^(25,43).

1977. Grundremmingen - Alemanha

Rompe o circuito primário liberando radioatividade no meio ambiente^(25,47,66).

1980. Grundremmingen - Alemanha

Rachaduras de até 10,3 mm foram encontradas nos tubos de refrigeração primária, cujas espessuras das paredes variam de

35 a 50 mm. O reator foi fechado definitivamente no início do ano e as rachaduras, originadas da corrosão, foram descobertas durante os exames preparatórios para a descontaminação^(25,35).

1969. Lucens - Suíça

Sobreaquecimento com rupturas de tubos e infiltração de água contaminada no subsolo. O reator é abandonado⁽⁵⁵⁾.

1969. Latina - Itália

Avárias de corrosão. O reator sofre paralisação prolongada⁽⁵⁵⁾.

1969. Lingen - Alemanha

Vazamento de água do circuito de refrigeração. O rio Ems é contaminado⁽⁵⁵⁾.

1969. Saint Laurent des Eaux - França

Fundem-se diversos elementos combustíveis. Os reparos duram três meses⁽⁵⁵⁾.

1974. Saint Laurent des Eaux - França

Incêndio de um painel de comando do reator SL2, que sofre paralisação de emergência⁽⁵⁵⁾.

1965. Humbolt Bay - EUA

Embora funcionando somente a 1/6 de sua capacidade, o reator começa a emitir 60% mais radioatividade do que a máxima permissível. Há fissuras nos elementos combustíveis⁽⁵⁵⁾.

1966. Chinon 1 - França

Vazamentos no intercambiador de calor⁽⁵⁵⁾.

1966. Enrico Fermi - EUA

Placas protetoras de zircônio soltam-se e bloqueiam os circuitos de refrigeração do reator super-regenerador experimental, que estava funcionando a 1/10 de sua capacidade normal. Houve sobreaquecimento. O dispositivo de proteção e parada automática não funciona. Um desastre de conseqüências imprevisíveis pôde ser impedido na última hora^(32,53,55,61).

1970. Enrico Fermi - EUA

Vazamento no circuito primário. Há explosão de 90 kg de sódio radioativo. O super-regenerador foi definitivamente abandonado em 1972 após sofrer o seu terceiro acidente grave^(32,55).

1967. Siloé - França

Fusão de um elemento combustível do reator do Centro de Pesquisas Nucleares em Grenoble⁽⁵⁵⁾.

1968. Chooz - Bélgica

Acidente de um reator franco-belga de água normal. Os serviços de reparos duram dois anos e dois meses⁽⁵⁵⁾.

1973. Chooz - Bélgica

Efluentes da central nuclear provocam elevada radioatividade no rio Mosa⁽⁵⁵⁾.

1968. Brennilis - França

A usina nuclear entra em pane total. Os reparos demoram três anos⁽⁵⁵⁾.

1970. Robinson - EUA

Ruptura em tubos, 7 feridos⁽⁵⁵⁾.

1970. Indian Point - EUA

Peças metálicas são encontradas nos circuitos de refrigeração⁽⁵⁵⁾.

1971. Indian Point - EUA

Um incêndio danifica o prédio dos circuitos de refrigeração⁽⁵⁵⁾.

1972. Indian Point - EUA

A pressão do circuito de refrigeração primária aumenta repentinamente 30%. A súbita alteração das condições da água do rio Hudson mata 150000 peixes. Seis meses após novas peças de aço são encontradas no circuito de refrigeração primária⁽⁵⁵⁾.

1973. Indian Point - EUA

Rupturas de tubulações de vapor. Durante a inspeção é verificada deformação do vaso de contenção de concreto⁽⁵⁵⁾.

1974. Indian Point - EUA

Diversos trabalhadores sofrem radiações acima dos limites legais estabelecidos. O reator é definitivamente fechado⁽⁵⁵⁾.

1970. Dresden 2 - EUA

Erros de operação sucessivos provocam oscilações de refrigeração de um reator de 600 MWe, ora deixando o reator sem água de refrigeração, ora inundando todo o sistema. A liberação de iodo radiativo ultrapassa em 100 vezes os limites estabelecidos^(55,64).

1974. Dresden 2 - EUA

Fissuras constatadas nos circuitos de refrigeração dos reatores Dresden 2, Quad Cities 2 e Millstone, provocam a paralisa

ção para inspeção, de outros 18 reatores⁽⁵⁵⁾.

1975. Dresden 2 - EUA

Vazamentos constantes observados nos sistemas de refrigeração do reator Dresden 2 ocasionam inspeção em 23 reatores que são paralisados⁽⁵⁵⁾.

1970. Wylfa - Inglaterra

Um sobreaquecimento obriga a paralisação do reator⁽⁵⁵⁾.

1970. Mühleberg - Suíça

Incêndio numa central nuclear⁽⁵⁵⁾.

1971. Bugey - França

Incêndio na sala de controle pouco antes da colocação em serviço do reator⁽⁵⁵⁾.

1971. Turkey Point - EUA

Ruptura de um duto de vapor, danificação de válvulas, despressurização do gerador de vapor, 16 feridos⁽⁵⁵⁾.

1973. Turkey Point - EUA

Treze incidentes observados em 10 meses. Um incêndio ocorre na sala de controle. Os geradores diesel de emergência entram em pane⁽⁵⁵⁾.

1972. Würgassen - Alemanha

O reator perde 1050 t de água radioativa, que eflue pelo rio Weser⁽⁵⁵⁾.

1973. Würgassen - Alemanha

Ruptura de tubos de refrigeração⁽⁵⁵⁾.

1974. Würgassen - Alemanha

Vibrações da turbina danificam pás da turbina. Os reparos duram mais de um ano^(55,85).

1978. Würgassen - Alemanha

O reator sofre uma paralisação de três meses, ao ser detectado fissuras no secador de vapor. As fissuras foram causadas pela vibração⁽⁸⁶⁾.

1972. Surry - EUA

Durante a inspeção de válvulas defeituosas, ocorre a explosão de uma delas, matando dois operários. Cinco meses depois em outro acidente o reator perde todo o líquido refrigerante⁽⁵⁵⁾.

1972. R.Ginna - EUA

O reator sofre problemas de combustível forçando sua operação a capacidade reduzida⁽⁵⁵⁾.

1972. Millstone 1 - EUA

Erro de ligação de tubulação de refrigeração. A água do mar penetra no circuito primário de refrigeração⁽⁵⁵⁾.

1973. Millstone 1 - EUA

Inspetores descobrem inúmeras fissuras nos sistemas de refrigeração⁽⁵⁵⁾.

1975. Millstone 1 - EUA

Alerta de radioatividade constatada no sistema de refrigeração⁽⁵⁵⁾.

1975. Oskarshamn 1 - Suécia

Teve uma paralisação de mais de um mês, para reparos nas turbinas devido a vibrações. O reator estava operando bem desde um grande reparo depois de um acidente no circuito de água de alimentação⁽⁶²⁾.

1973. Palissades - EUA

Vazamento de vapores radioativos, sete semanas de reparos. Os reparos considerados pequenos envolveram a substituição de 27000 tubos no condensador de vapor^(55,63).

1974. Palissades - EUA

Continuam os vazamentos de vapores radioativos⁽⁵⁵⁾.

1973. Vermont Yankee - EUA

Ocorre emissão de cem vezes mais radioatividade que o limite de segurança permitido. Onze meses após um erro de operação retira duas barras de controle do núcleo do reator. Sobre aquecimento e parada de urgência⁽⁵⁵⁾.

1973. Quad Cities 1 - EUA

Explosão de hidrogênio⁽⁵⁵⁾.

1973. EUA

A AEC (Atomic Energy Commission) constata deformação de elementos combustíveis nos reatores de Beznau (Suíça) e R.Ginna (EUA), ordenando que 10 reatores passassem a operar com carga reduzida^(55,64).

1973. Cadarache - França

Incêndio em reator nuclear⁽⁵⁵⁾.

1973. San Onofre 1 - EUA

Sobreaquecimento. Parada de emergência do reator. O sistema de refrigeração de emergência dispara e inunda todo o reator, danificando diversas tubulações e instalações de comando. O acidente fora provocado por falha das operações⁽⁵⁵⁾.

1973. Shevtchenko - URSS

Vazamento de sódio líquido e explosão de sódio no circuito de refrigeração secundário do super-regenerador BN 350⁽⁵⁵⁾.

1973. Maine Yankee - EUA

Vazamento em elementos combustíveis do reator⁽⁵⁵⁾.

1973. Pilgrim 1 - EUA

Vibrações anormais no reator. Reparos duram seis meses⁽⁵⁵⁾.

1974. Quad Cities 2 - EUA

Os filtros de gases radioativos do reator são danificados por uma explosão. Seis meses após ocorre vazamento de vapores radioativos provocado por ruptura de uma tubulação do circuito primário de refrigeração. Em setembro ocorre vazamento de iodo radioativo, constituindo o quarto acidente grave deste reator em 1974⁽⁵⁵⁾.

1974. Pickering - Canadá

Vazamento de 2 t de água pesada radioativa. Os trabalhos de inspeção demonstram a existência de mais de 100 fissuras dos tubos de zircônio do combustível⁽⁵⁵⁾.

1974. Mutsu - Japão

O navio nuclear Mutsu sofre avaria grave, tendo de retornar ao porto utilizando 1% de sua capacidade nominal. A tripula

ção foi evacuada. Somente a 16 de outubro de 1978 o navio Mutsu recebeu permissão para atracar no porto Sasebo para fazer os reparos e modificações necessários^(55,58,59,70,72).

1974. Ringhals - Suécia

Três bombas do circuito de refrigeração primária entra em pane. O reator opera com somente 30% de sua capacidade nominal durante três meses⁽⁵⁵⁾.

1974. Japão

Os reatores Fukushima 1, Hamaoka 1 e Tusuruga sofrem paralisação prolongada, quando é substituído a quase totalidade dos tubos do circuito de refrigeração de emergência. A substituição da tubulação é uma tentativa de solucionar o problema de alta incidência de fissuras devido a corrosão nestes reatores, semelhantes às encontradas em vários reatores BWR americanos^(38,40,55).

1974. Mihama 1 - Japão

A erosão de 14% dos tubos do gerador de vapor do reator, torna necessário a substituição do mesmo. Num outro episódio com esse reator, uma barra de combustível quebrou durante a operação de substituição de combustível. O reator só entra novamente em operação quatro anos após, operando com apenas 60% de sua potência máxima^(27,54).

1975. Fukushima 2 - Japão

Encontrado vários vazamentos no circuito de refrigeração primário do reator, apenas dois dias após entrar em operação depois de uma parada prolongada para reparos⁽⁴¹⁾.

1974. Zion 2 - EUA

Erro de operação provoca parada de emergência do reator e acionamento do sistema de refrigeração de emergência, que, no

entanto, não funciona por se encontrarem bloqueadas três válvulas⁽⁵⁵⁾.

1975. Mihama 2 - Japão

Vazamento de vapores radioativos do gerador de vapor⁽⁵⁵⁾.

1975. Brown's Ferry - EUA

Uma vela acesa provoca incêndio dos cabos de controle do reator. O incêndio afeta rapidamente o centro de controle global dos três reatores e dura mais de sete horas. O sistema de refrigeração de emergência fica inutilizado e, entram em pane os sistemas de controle eletrônico à distância. O reator só pode ser parado por manobras manuais de emergência^(31,55).

1978. Rancho Seco - EUA

Se estabelece um caos completo na sala de controle do reator quando um pequeno bulbo de uma lâmpada cai sobre o console de instrumento, provocando um curto circuito que afeta dois terços dos instrumentos de leitura em pressão temperatura e nível d'água. Levou 70 minutos para restaurar a ordem, durante o qual os operadores não sabiam o que estava ocorrendo com o reator⁽⁵²⁾.

1975. Tarapur - Índia

Vazamentos de radioatividade ocasionado por falhas dos elementos combustíveis⁽⁵⁵⁾.

1979. Tarapur - Índia

O reator nuclear sofre um acidente semelhante a TMI. Felizmente não estava funcionando quando um tubo de refrigeração primária começou a vazar. O reator estava em reparos depois de ter sido encontradas rachaduras nos tubos de refrigeração. Foi sugerida a evacuação da vila próxima⁽⁵¹⁾.

1979. Japão

Rachaduras foram encontradas em pinos de suporte das barras de controle no reator Mihama-3. Fissuras semelhantes foram encontradas nos reatores Takahama-2 e Genkai-1. No Takahama-2 há fissuras nos tubos de aço de três polegadas onde eles penetram no vaso do reator⁽³⁶⁾.

1979. Ohi 1 - Japão

O reator Ohi-1 teve uma parada de emergência somente um mês após uma longa parada. A parada foi devido a um acionamento inadvertido do sistema de injeção de alta pressão⁽⁶⁹⁾.

1979. Tokai 2 - Japão

O reator teve uma parada devido a um vazamento de vapor do circuito primário⁽⁶⁹⁾.

1979. Fukushima - Japão

Os reatores Fukushima 3 e 4 foram desligados devido a vazamentos de vapores⁽⁶⁹⁾.

1979. Japão

Nenhum reator PWR japonês encontra-se funcionando. Novas fissuras devido à corrosão encontradas nos reatores Mihama 1 e 2 e Takahama 1. Fissuras e vazamentos espalham-se pelos reatores japoneses como uma praga⁽⁶⁹⁾.

1979. Three Mile Island - EUA

Falhas simultâneas de vários equipamentos e sucessivos erros dos operadores resulta num dos maiores acidentes com reatores nucleares que quase se transforma numa tragédia⁽¹¹⁾.

1980. BÉlgica

Inspeção ultrasônica realizada pela Framatome registrou a presença de cerca de quatro fraturas no vaso do reator Tihange 2 e sete no vaso do reator Doel 3 que deverão entrar em operação em 1982. Fraturas também foram encontradas nos vasos dos reatores franceses de Gravelines, Tricastin e Fessenheim 1^(33,34,77).

1980. Japão

O reator Ikata foi desligado ao ser detectado fissuras no sistema de refrigeração primário. Num incidente separado foi observado fissuras em pinos do sistema de suporte das barras de combustível do reator Ohi 1⁽⁶⁷⁾.

1980. Brunsbüttel - Alemanha

Após apenas dez dias de operação o reator foi desligado devido a uma vazamento no sistema de refrigeração. O reator esteve parado por dois anos para reparos⁽⁷⁶⁾.

1980. Indian Point 2 - EUA

Cerca de 100.000 galões de água do rio Hudson invadem o prédio do reator. A inundação só foi descoberta quando o reator foi desligado devido a um instrumento defeituoso e os operadores foram investigar o problema. As bombas de drenagem e as lâmpadas de alarme não funcionaram. A água subiu até um nível de 9 pés⁽⁴⁸⁾.

1973. EUA

AEC (Atomic Energy Commission) anuncia a ocorrência de 850 anormalidades na operação de reatores americanos, no período entre janeiro de 1972 e maio de 1973⁽⁵⁵⁾.

1974. EUA

A AEC (Atomic Energy Commission) relata a ocorrência de 861 anormalidades em 1973, ocorridas nos 42 reatores em opera-

ção, das quais 371 poderiam transformar-se em ocorrências graves, o que ocorreu em 18 casos⁽⁵⁵⁾.

1975. EUA

A Nuclear Regulatory Commission anuncia a ocorrência de 1.421 anomalias em reatores americanos no ano de 1974. Desses incidentes, 529 foram considerados significativos⁽⁵⁵⁾.

1979. Alemanha

Conforme relatório da GRS (Gesellschaft für Reaktorsicherheit), a Sociedade Alemã de Segurança de Reatores, no ano de 1976 ocorreu em média um incidente a cada três dias na Alemanha. Conforme a GRS ocorreram 139 incidentes, 24 considerados graves⁽¹⁸⁾.

Acidentes com Transporte de Material Radioativo

1969. EUA

Um container de UF_6 altamente enriquecido foi embarcado de Postsmouth, Ohio, para Hematite, Missouri, onde não chegou. Investigadores da AEC e do FBI encontraram-no 15 dias depois em Boston⁽⁴²⁾.

1969. EUA

Embarque de urânio altamente enriquecido destinado a Frankfurt, Alemanha, acabou em Londres⁽⁴²⁾.

1970. EUA

Um cilindro contendo 70% de urânio altamente enriquecido, estava sendo transportado de um local para outro na mesma cidade da Califórnia quando sumiu. Foi encontrado em Tiajuana, México⁽⁴²⁾.

1971. França

Um cargueiro atraca no Havre carregado de concentrados uraníficos e de grandes pacotes de algodão. Durante o descarregamento, tonéis se quebram e o seu conteúdo cai sobre os pacotes de algodão. O cargueiro é descontaminado⁽⁷⁸⁾.

1972. Port de Bordeaux - França

Uma carga de urânio cai do gancho ao ser descarregada. Rompe-se um recipiente e o urânio contamina a água⁽⁵⁵⁾.

1972. França

Em Saclay um recipiente considerado vazio contém, entretanto, uma fonte de 700 Curies de cobalto que deve ser reunido aos rejeitos. Dois trabalhadores, certos de que o recipiente estava vazio são irradiados, o que lhes provoca uma radiodermite na mão. Um exemplo que não se refere à embalagem, mas a maneira como ela foi usada⁽⁷⁸⁾.

1974. Malvésie - França

Diversos quilogramas de uranato de magnésio perdem-se sobre 4 km de via férrea em consequência de avarias sofridas por tonéis de transporte⁽⁵⁵⁾.

1975. França

Oitenta quilogramas de UF_6 escapam de seu recipiente em Comurhex-Pierrelatte⁽⁷⁸⁾.

1975. França

Dois tonéis de urânio arrebentam as abas de um caminhão de transporte devido a uma colisão perto de Béziers. O urânio se espalha na rua. O asfalto foi retirado e levado para um depósito de lixo atômico na usina de Comurhex^(55,78).

Atentados a Centrais Nucleares

1975. Fessenhein - França

Atentado terrorista a central nuclear em construção. Duas bombas danificam os sistemas de refrigeração do circuito primário (55,79,80).

1975. Monts d'Arrée - França

Duas bombas são detonadas em atentado terrorista, danificando o prédio do reator (79).

1976. Limoges - França

Instalações de extração de urânio da Cogema são grandemente danificadas em atentado terrorista. Uma explosão também destrói um escritório da Companhia Nacional para Pesquisas de Combustíveis Atômicos em Paris (71).

1978. Lemoniz 1 - Espanha

Terroristas explodem uma poderosa bomba dentro do gerador de vapor do reator em construção. Um morto e 14 feridos. O gerador de vapor necessita ser reconstruído (75).

Acidentes na Indústria de Tratamento de Combustível Nuclear

1958. Rússia

Explosão em depósito de rejeitos radioativos causa centenas de mortos (81).

1963. Windscale - Inglaterra

Os trabalhadores são contaminados além do limite possível (55).

1973. Windscale - Inglaterra

Vazamento acidental de radioatividade da usina de reprocessamento. Trinta e cinco trabalhadores são contaminados^(55,84).

1975. Windscale - Inglaterra

Terceiro vazamento substancial de radioatividade, observado após 1970⁽⁵⁵⁾.

1978. Windscale - Inglaterra

Um aumento na produção de hidrogênio obriga a paralisação da usina de reprocessamento de combustível irradiado do reator Magnox. O material é mantido sob água devido ao risco de incêndio. A reação de hidrólise sob a água produz o hidrogênio que deve ser ventilado do prédio. Os altos níveis de hidrogênio observados determinou a evacuação dos trabalhadores do prédio⁽⁴⁶⁾.

1979. Windscale - Inglaterra

Encontrado um vazamento de 100.000 ci na forma de líquido radioativo de um dos prédios de armazenamento da usina de reprocessamento de Windscale. O vazamento contamina o solo na área da usina^(60,68).

1964. River Junction - EUA

Acidente de criticalidade - 1 morto⁽⁵⁵⁾.

1965. Centro Europeu de Pesquisas Nucleares - Suíça

Fugas de hidrogênio líquido, perigo de explosão⁽⁵⁵⁾.

1968. La Hague - França

Vazamento acidental de iodo radioativo da usina de reprocessamento. A radioatividade ultrapassa em 100 vezes o valor máximo permissível⁽⁵⁵⁾.

1971. La Hague - França

Ruptura de uma canalização de líquidos radioativos. Contaminação de uma barragem de água potável⁽⁵⁵⁾.

1973. La Hague - França

Vazamento de gases radioativos. Trinta e cinco trabalhadores são contaminados, sete dos quais gravemente⁽⁵⁵⁾.

1978. La Hague - França

A usina de reprocessamento para por 17 dias devido à obstrução da tubulação que leva nitrato de urânio da piscina onde o combustível irradiado é dissolvido para a unidade de separação⁽⁶⁵⁾.

1980. La Hague - França

A usina de reprocessamento nuclear de Cap de La Hague ficou por uma hora sem energia elétrica, parando o sistema de refrigeração dos tanques de resíduos altamente ativos e a ventilação nas cubas de reprocessamento cheia de ácido nítrico. Só se evitou uma catástrofe porque a usina não estava em pleno funcionamento. Não se pode obter energia elétrica auxiliar porque a causa foi um incêndio nos transformadores por onde passam ambas as redes de energia elétrica⁽³⁹⁾.

1969. Rocky Flats - EUA

Grave incêndio de plutônio. O plutônio contamina a atmosfera⁽⁵⁵⁾.

1971. Veurey - França

Explosão de um forno da Sociéte Industrielle de Combustibles Nucléaires. Um operário morre, outro é ferido. Um vaso contendo 650 kg de urânio resiste à explosão⁽⁵⁵⁾.

1973. Veurey - França

Um depósito de urânio inflama-se espontaneamente na usina de combustíveis nucleares da SICN⁽⁵⁵⁾.

1972. Annecy - França

Rompe-se um módulo de grafita, provocando um incêndio de urânio. Dois meses após ocorre um segundo incêndio na fábrica de combustíveis nucleares. Quatorze dias depois uma explosão e novamente incêndio de urânio na fábrica de elementos combustíveis⁽⁵⁵⁾.

1973. Annecy - França

Ocorre mais um incêndio na fábrica de elementos combustíveis⁽⁵⁵⁾.

1970. Hanford - EUA

Edward P. Radford, depondo perante a Comissão Conjunta de Energia Atômica em janeiro de 1970, disse que na área da usina de Hanford as concentrações de trítio na atmosfera chegaram a ser, em certas ocasiões, 10^5 vezes superiores ao nível natural na água da chuva. Em março de 1970 notou-se que vários patos que se alimentavam em valas de água com detritos procedentes da usina se tornaram intensamente radioativos. Tal radioatividade teria dada a alguém que tivesse comido um dos patos logo após abate-los, uma dosagem de radiação cinco vezes maior que o máximo permissível⁽⁷³⁾.

1973. Hanford - EUA

460 toneladas de líquidos radioativos vazam, contaminando todo o subsolo da usina de reprocessamento⁽⁵⁵⁾.

1973. Hanford - EUA

Novo vazamento de 35 t de detritos radioativos totalizando

750 t para o ano de 1973⁽⁵⁵⁾.

1974. Hanford - EUA

Outras 125 t de líquidos radioativos vazam dos depósitos⁽⁵⁵⁾.

1976. Hanford - EUA

Uma explosão química na usina de tratamento de rejeitos. Onze trabalhadores sofrem contaminação radioativa. Um deles sofre vários cortes e queimaduras de primeiro e segundo grau^(44,49).

1973. Oak Ridge - EUA

Uma ultracentrífuga explode no centro de enriquecimento de urânio⁽⁵⁵⁾.

1974. Miamisburg - EUA

Plutônio escapa dos laboratórios da AEC contaminando o canal de Axiē⁽⁵⁵⁾.

1974. Obrigheim - Alemanha

Detritos radioativos são encontrados numa lixeira municipal⁽⁵⁵⁾.

1974. Hanau - Alemanha

Diversas centenas de quilogramas de plutônio são armazenados sem dispositivos de segurança⁽⁵⁵⁾.

1974. Grenoble - França

Vazamento de antimônio radioativo de uma piscina de armazenagem de elementos combustíveis irradiados do reator de fluxo elevado do Centro de Pesquisas Nucleares⁽⁵⁵⁾.

1974. Grenoble - França

Incêndio no Centro de Pesquisas Nucleares⁽⁵⁵⁾.

1974. Saclay - França

Explosão química no centro de estudos nucleares. Seis feridos⁽⁵⁵⁾.

1975. Port Hawkesbury - Canadá

Explosão e incêndio num tanque de armazenagem de água pesada. Destruição do tanque e perda de três toneladas de água pesada⁽⁴⁵⁾.

1978. Baroda - Índia

Explosão e incêndio na usina de produção de água pesada. Vinte feridos. A usina é desligada por tempo indeterminado. Há suspeita de sabotagem^(28,29).

1978. Tokai - Japão

Vazamento causa inativação da usina de reprocessamento por tempo indeterminado^(81,82).

1978. Inglaterra

Doze trabalhadores são contaminados com plutônio no estabelecimento nuclear militar Aldermaston Atomic Weapons Research Establishment⁽⁸³⁾.

1979. Dounreay - Inglaterra

Os trabalhadores das unidades de processamento do combustível do reator regenerador de Dounreay foram contaminados com plutônio proveniente de resíduos radioativos que estavam sendo depositados em tanques. Em maio de 1977, houve uma explosão de 2,5 kg de sódio em água num depósito de resíduos sólidos. A ex-

plosão foi equivalente a um barril de petróleo. Neste mesmo centro constatou-se em 1973 e 1977 o estravio inexplicável de pastilhas de combustível contendo dezenas de gramas de óxido de plutônio e de urânio⁽³⁷⁾.

1980. Karlsruhe - Alemanha

A usina de reprocessamento será desligada pelo menos por um ano, devido a fissuras nos tanques dissolvedores. Num segundo incidente vapores radioativos vazaram para a atmosfera exterior⁽⁵⁰⁾.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. POWER reactors '80. Nuclear Engineering International. London, 25(302):50-1, 56-7, July/Aug. 1980. Suppl.
2. PASCHOA, A.S. Documento base sobre o impacto do ciclo de combustível nuclear no meio ambiente. Boletim Informativo da SBF. Relatório do grupo de trabalho sobre a poluição nuclear. São Paulo, 8:89, abr. 1977. Boletim especial, 1..
3. SIBLEX, C. Bruce. Surviving doomsday. London, Shaw & Sons, 1977. p. 26.
4. _____. _____. p. 28, 30.
5. _____. _____. p. 31-2.
6. MARION, Jerry B. Physical science in the modern world. New York, Academic Press, 1974. p. 659.
7. U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. Reactor safety study; an assessment of accident risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants. Washington, Oct. 1975. NUREG-75/014; WASH-1400. Relatório preliminar.
8. BETHE, H.; PANOFSKY, W.K.H.; WEISSKOPF, V.F. Report to the American Physical Society by the study group on light-water reactor safety. Reviews of Modern Physics, New York, 47, 1975. Suppl. Summer, 1.
9. U.S. NUCLEAR REGULATORY COMMISSION. Reactor safety study; an assessment of accident risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants. Washington, Oct. 1975. NUREG-75/014; WASH-1400.
10. NUCLEAR ENERGY POLICY STUDY GROUP. Nuclear power issues and choices. Cambridge, Ballinger, 1977.
11. KEMENY, J.G. Report of the president's commission on the accident at three mile island. Washington, U.S. Government Printing Office, 1979.

12. WELCH, Bruce L. Deception on nuclear power risks: a call for action. The Bulletin of the Atomic Scientists, Chicago, 36(7):50-4, Sept. 1980.
13. BARNABY, Frank. The controversy over low-level radiation. Ambio, Oslo, 9(2):74-80, 1980.
14. SCHURGIN, A.S. & HOLLOCHER, T.C. Radiation-induced lung cancers among uranium miners. In: UNION OF CONCERNED SCIENTISTS. The nuclear fuel cycle. Cambridge, MIT Press, 1975. p. 9-40.
15. TORREY, Lee. Radiation cloud over nuclear power. New Scientist, London, 86(1204):197, Apr. 1980.
16. SCIENTISTS challenge baby deaths at three mile island. New Scientist, London, 86(1204):180, Apr. 1980.
17. SCOTT, R.L. & GALLAHER, R.B. Annotated bibliography of safety relate occurences in nuclear power plants as reported in 1974. Nuclear Safety Information Center, Oak Ridge, May, 1975. ORNL-NSIC-122.
18. HÖPFNER, Klaus. West Germany: a nuclear incident every three days. Nature, London, 281:418, Oct. 1979.
19. ROSA, Luiz Pinguelli. O problema da segurança das centrais nucleares. In: ENERGIA nuclear e sociedade. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1980. p. 97-134. Publicado originalmente no Boletim especial da SBF, São Paulo, 8(1):1-52, abr. 1977.
20. PASCHOA, A.S. Documento base sobre o impacto do ciclo de combustível nuclear no meio ambiente. Boletim Informativo da SBF. Relatório do grupo de trabalho sobre a poluição nuclear. São Paulo, 8:54, abr. 1977. Boletim especial, 1.
21. AVELINE, Alfredo; HOROWITZ, Flávio; CUNHA, Silvio Luiz Souza. Energia nuclear: uma breve visão crítica. In: ENERGIA nuclear e sociedade. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1980. p. 135-59. Publicado originalmente na Ciência e Cultura, São Paulo, 29(8):888-901, ago. 1977.

22. POWER reactors'80. Nuclear Engineering International, London, 25(302) July/Aug. 1980. Suppl.
23. _____. Elaborado ã partir de dados extraídos em bruto.
24. NUCLEAR station achievement. Nuclear Engineering International, London, 25(304):54-5, Sept. 1980.
25. GUNDREMMINGEN to be closed. Nuclear Engineering International, London, 25(295):4, Febr. 1980.
26. Energia nuclear no Brasil. Porto Alegre, 1980. Atos do ciclo de debates. Porto Alegre, SBF, 1980. A ser publicado.
27. ANOTHER scandal in Diet. Nucl. Eng. Int., London, 22(253):10, Feb. 1977.
28. BARODA heavy water plant should be ready in 1979. Nucl. Eng. Int., London, 23(270):8, Apr. 1978.
29. BARODA heavy water plant shut down due to explosion. Nucl. Eng. Int., London, 23(266):9, jan. 1978.
30. BOILER bugs now in Mihama. Nucl. Eng. Int., London, 20(224):82, Feb. 1975.
31. BROWNS Ferry fires. Nucl. Eng. Int., London, 21(247):14, Aug. 1976.
32. BUNYARD, P. Is there a peaceful atom? Ecologist, London, 1(1):15-9, July, 1971.
33. CRACKED reactors will start. Nucl. Eng. Int., London, 25(301):4, July, 1980.
34. CRACKS discovered at Fessenheim. Nucl. Eng. Int., London, 25(301):6, July, 1980.
35. CRACKS found at Grundremmingen. Nucl. Eng. Int., London, 25(300):13, June, 1980.
36. CRACKS trouble PWRs. Nucl. Eng. Int., London, 24(285):5, May, 1979.
37. DOUNREAY incidents examined. Nucl. Eng. Int., London, 25(306):11, Nov. 1980.

38. ECCS cracks. Nucl. Eng. Int., London, 20(230):451, May, 1975.
39. FIRE stops La Hague. Nucl. Eng. Int., London, 25(300):13, June, 1980.
40. FUKUSHIMA-1 bypass circuit. Nucl. Eng. Int., London, 20(224):82, Feb. 1975.
41. FUKUSHIMA-2 leaks. Nucl. Eng. Int., London, 20(230):452, May, 1975.
42. GEESAMAN, Donald P. Plutonium and the energy decision. Bull. Atom. Sci., Chicago, 27(7):33-36, Sept. 1971. Note.
43. GUNDREMMINGEN accident again discussed at court. Nucl. Eng. Int., London, 23(278):4, Nov. 1978.
44. HANFORD chemical blast contaminates 11. Nucl. Eng. Int., London, 21(248):8, Sept. 1976.
45. HEAVY water plant explosion. Nucl. Eng. Int., London, 20(236):899, Nov. 1975.
46. HYDROGEN production at Windscale. Nucl. Eng. Int., London, 23(279):5, Dec. 1978.
47. INCIDENT at Gundremmingen. Nucl. Eng. Int., London, 22(253):6, Feb. 1977.
48. INDIAN point flood details issued. Nucl. Eng. Int., London, 25(307):6, Dec. 1980.
49. KING, L. Hanford's minor explosion makes impact world-wide. Nucl. Eng. Int., London, 21(249):37-8, Oct. 1976.
50. LEAK shuts reprocessing plant. Nucl. Eng. Int., London, 25(301):10, July, 1980.
51. LEAKS delay work at Tarapur. Nucl. Eng. Int., London, 25(298):8, Apr. 1980.
52. LIGHT bulb chaos at Racho Seco. Nucl. Eng. Int., London, 23(279):12, Dec. 1978.

53. LOVINS, A.B. The case against the fast breeder reactor. Bull. Atom. Sci., Chicago, 29(3):29-35, Mar. 1973.
54. MIHAMA 1 nearly ready to operate. Nucl. Eng. Int., London, 23(272):12, June, 1978.
55. MIROW, K.R. Loucura nuclear; os enganos do acordo Brasil-Alemanha. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1979. p. 262-70.
56. MORE leaks at Tarapur. Nucl. Eng. Int., London, 25(300):14, June, 1980.
57. MORE leaks at Windscale. Nucl. Eng. Int., London, 22(252):9, Jan. 1977.
58. MUTSU finally in for repairs. Nucl. Eng. Int., London, 23(279):11, Dec. 1978.
59. MUTSU may be saved in new deal. Nucl. Eng. Int., London, 23(272):7, June, 1978.
60. NO action needed now on silo leak. Nucl. Eng. Int., London, 25(298):4, Apr. 1980.
61. NOVICK, S. The careless atom. Boston, Houghton Mifflin, 1964.
62. OSKARSHAMN I shut down. Nucl. Eng., Int., London, 20(230):453, May, 1975.
63. PALISADES starts up again. Nucl. Eng. Int., London, 20(230):453, May, 1975.
64. PATTERSON, W. Nuclear power. Ecologist, London, 3(7):252-7, July, 1973.
65. PIPE blockage stops La Hague. Nucl. Eng. Int., London, 23(279):9, Dec. 1978.
66. PIPE cracks found in Gundremmingen. Nucl. Eng., Int., London, 21(248):12, Sept. 1976.
67. PWRS start to crack. Nucl. Eng. Int., London, 25(301):7, July, 1980.

68. RADIOACTIVE - waste leak at Windscale. Nucl. Eng. Int., London, 22(252):9, Jan. 1977.
69. REACTOR problems plague Japan's restarts. Nucl. Eng. Int., London, 24(290):8, Sept. 1979.
70. REPAIRS start on nuclear ship. Nucl. Eng. Int., London, 25(304):9, Sept. 1980.
71. SABOTAGE in France and Sweden. Nucl. Eng. Int., London, 21(251):6, Dec. 1976.
72. SASEBO looks like denying Mutsu. Nucl. Eng. Int., London, 23(267):11, Feb. 1978.
73. SCHWARTZ, E.S. A inflação da técnica. São Paulo, Melhoramentos, 1975.
74. SOVIET nuclear accident claimed by dissident in London. Nucl. Eng. Int., London, 21(251):12, Dec. 1976.
75. STEAM generator destroyed by bomb. Nucl. Eng. Int., London, 23(271):5, May, 1978.
76. STOP-GO-STOP at Brunsbüttel. Nucl. Eng. Int., London, 25(307):5, Dec. 1980.
77. STRIKES and sabotage hit french stations. Nucl. Eng. Int., London, 24(292):3, Nov. 1979.
78. SYNDICAT CFDT DE L'ENERGIE ATOMIQUE. França. Condições de trabalho e riscos para os trabalhadores da indústria nuclear. In: ENERGIA nuclear e sociedade. Rio de Janeiro. Paz e Terra, 1980. Cap. 7.
79. TERRORISTS bomb Brennilis plant. Nucl. Eng. Int., London, 20(235):884, Oct. 1975.
80. TERRORISTS bomb Fessenheim. Nucl. Eng. Int., London, 20(230):451, May, 1975.
81. TOKAI reprocessing plant may not reach target. Nucl. Eng. Int., London, 23(278):10, Nov. 1978.
82. TOKAI reprocessing plant shut down by leak. Nucl. Eng. Int., London, 23(277):4, Oct. 1978.

83. Contaminated by plutonium at military establishment. Nucl. Eng. Int., London, 23(276):6, Sept. 1978.
84. WINDSCALE accident review. Nucl. Eng. Int., London, 20(237): 989, Dec. 1975.
85. WÜRGAŠSEN operates again. Nucl. Eng. Int., London, 20(230): 451, May, 1975.
86. WÜRGAŠSEN operating again after 3 month outage. Nucl. Eng. Int., London, 23(273):6, Aug. 1978.

AGRADECIMENTOS

A realização desse trabalho são foi possível pela contribuição decisiva do prof. Slvio Luiz Souza Cunha em várias etapas, principalmente na compilação dos eventos ligados a segurança (a qual realizou integralmente) e em numerosas discussões.

Agradeço também a Zuleika Berto pelo competente e bem disposto trabalho de ordenação da bibliografia, a Maria Cecília e a Elisabeth agradeço pela paciência e eficiência na dactilografia.