

Em 60 anos que decorreram desde a operação da primeira usina núcleo-elétrica, foi construído outro meio milhar, concentradas, significadamente, no desenvolvido hemisfério norte. Neste conjunto, e ao longo deste tempo, acidentes nucleares com liberação de radioatividade, ou seja, com dano ao núcleo do reator – se restringiram a três: TMI (Three Mile Island, USA, 1979), Tchernobyl (URSS, 1986) e Fukushima (Japão, 2011). Em TMI a radioatividade liberada ficou restrita ao interior da usina, em Tchernobyl e Fukushima a liberação foi para o exterior; no primeiro caso, tendo sido maciça e descontrolada, no segundo, controlada e muitíssimo menor que em Tchernobyl.

A central nuclear de Tchernobyl era composta, à época do acidente, por 4 usinas em operação e 2 em construção, todas alinhadas segundo um eixo longitudinal. Cada uma tinha uma potência elétrica de 1000MW. O acidente ocorreu na unidade 4, última a entrar em operação.

Tchernobyl usava um reator conhecido pela sigla (em russo) RBMK, que tinha um projeto peculiar no universo dos reatores de potência operando à época do acidente, 1986. Embora seu moderador fosse a grafite, como o de vários reatores ingleses e franceses, diferentemente destes, que usavam gás carbônico como refrigerante, os RBMK usavam água fervente. Esta era conduzida em canais que atravessavam verticalmente o maciço de grafite. O uso de grafite acarretava dimensões físicas muito grandes para os reatores, o que levou os responsáveis soviéticos a abrir mão da construção de uma contenção em torno do reator, ao contrário do que ocorria nos reatores ocidentais.

A sequência de eventos que levou ao acidente teve origem em um teste, que só poderia ser realizado por ocasião do desligamento do reator. Aproveitou-se a parada regular de manutenção da usina. O teste foi iniciado cerca de meio-dia da véspera do acidente e deveria ser executado ao longo do dia. Foi, porém, interrompido, a pedido do despacho de carga, e só foi retomado à noite. O teste foi, portanto, executado em desacordo com o programado, o que acabou levando o reator a operar em condições não previstas em projeto. Além disso, o turno que iniciou o teste foi substituído. Quando ficou evidente ao turno da noite de que algo de grave estava acontecendo, foi acionado manualmente o mecanismo de emergência de desligamento, provocando a inserção das barras de segurança (feitas de material absorvedor de nêutrons, que extingue a reação em cadeia).

Ocorre que as condições de operação não usuais do reator levaram a um efeito inesperado: as barras de segurança, ao começarem a sua queda, antes de extinguirem a reação em cadeia, provocaram a aceleração da reação. A consequência foi uma elevação abrupta de potencia. Esta levou a uma explosão de vapor na totalidade dos cerca de 1.500 canais de refrigeração que percorriam verticalmente o moderador de grafite do reator. Este tipo de acidente estava fora da base de projeto, que previa a explosão simultânea de no máximo três canais. Isso levou à destruição total do combustível e à combustão da massa de grafite. A tampa de concreto no topo do reator, de centenas de toneladas, foi arremessada pela massa de vapor e ao cair de volta, ficou em posição inclinada sobre o reator escancarado, sem tampa-lo.

Produtos de fissão radioativos provenientes do combustível destruído foram ejetados sem controle diretamente para a atmosfera, já que não havia a clássica contenção dos reatores ocidentais. A reação em cadeia foi imediatamente extinta (devido à destruição dos elementos combustíveis). As medidas imediatas de mitigação das consequências do acidente consistiram em extinguir o incêndio, proteger a população

através da evacuação e barrar o caminho à radiação e às emissões de produtos de fissão radioativos, através da deposição por helicóptero de toneladas de diversos materiais: boro, absorvedor de nêutrons, para evitar o ressurgimento da reação em cadeia, dolomita, para gerar gás carbônico que refrigeraria a grafite em combustão, areia e argila para filtrar os radioisótopos em liberação do núcleo e, finalmente, chumbo, para, derretido, selar o topo escancarado do reator, ao mesmo tempo funcionando como blindagem contra a radiação, uma vez solidificado. É preciso salientar que estas medidas atingiram os seus objetivos: o incêndio foi extinto, salvando os reatores contíguos, a população foi protegida da radiação imediata e a liberação de radioatividade cessou. As consequências, a longo prazo foram objeto de inúmeras análises, cujo relato foge do escopo deste breve artigo.

Vamos aqui nos concentrar nas causas do acidente. Inúmeras análises foram realizadas para identifica-las e resumidas em anais de conferencias e relatórios. Entre tantos, merece destaque um relatório sintético, publicado em 1992 pelo INSAG, o órgão de alto nível da AIEA encarregado da segurança nuclear.

Em resumo, concluiu o INSAG que o acidente teve como causas: erro de projeto, licenciamento inadequado do experimento a ser realizado, bem como da sua execução, erros de operadores, causados por sua formação inadequada e pela deficiência na troca de informações entre operadores de usinas, falta de transparência no processo de conduzir todas as fases do projeto e execução da usina, com falta de fiscalização formal do público e, *last but not least*-falta da assim chamada cultura de segurança na usina.

Foram tomadas inúmeras medidas a nível da então URSS e a nível internacional para evitar a repetição deste tipo de erros: “Retrofitting” em todos os reatores RBMK em operação, criação de um forte órgão independente de licenciamento na então URSS, criação da WANO-World Association of Nuclear Operators, com o objetivo de promover o intercambio entre os operadores de empresas operadoras de usinas nucleares do mundo, medidas internas à ex-URSS para aumentar a transparência (o acidente de Tchernobyl impulsionou a Glasnost e contribuiu politicamente para o fim da URSS). Ao nível internacional criou-se a Convenção Internacional de Segurança Nuclear, da qual, entre outros, o Brasil é signatário e que se destina a uma transparência e fiscalização da segurança nuclear entre governos. Finalmente, a AIEA criou uma série de serviços especializados de assistência para avaliar a cultura de segurança nas usinas nucleares, começando com um projeto piloto aqui no Brasil, na Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto.

As medidas corretivas foram eficazes, evitando a repetição de acidente grave no quarto de século que se seguiu.

Foi necessário um terremoto e um tsunami com magnitudes extraordinárias para provocar um novo acidente severo (i.é, decorrente de circunstancias fora da base de projeto), desta vez no Japão, em Fukushima.

A central nuclear de Fukushima, na costa leste do Japão, consiste de dois conjuntos: o Dai-ichi, com 6 usinas e o Dai-ni, com 4. Todas foram atingidas pelo sismo ocorrido em 11 de março de 2011, mas com conseqüências diferentes. As 4 usinas de Dai-ni estavam em operação e foram desligadas automaticamente pelos mecanismos de proteção, permanecendo íntegras e desligadas. Das 6 usinas de Dai-ichi, as de números 1,2 e 3 estavam em operação, as de número 4, 5 e 6 estavam desligadas para manutenção.

As que sofreram acidente grave com fusão do núcleo foram as 1,2 e 3. As usinas têm projeto antissísmico e os mecanismos de desligamento automático (inserção das barras de segurança para o interior do núcleo)

funcionaram como projetados, extinguindo a reação nuclear em cadeia. Após o seu fim, entretanto, os radioisótopos (produtos de fissão) contidos nos elementos combustíveis continuam a emitir radiação, gerando calor. Este "calor residual" equivale inicialmente a 6% da potência térmica do reator e diminui ao longo do tempo, mas nunca chega a zero.

O calor residual é removido através do equipamento que faz parte integral e essencial do projeto da usina, que necessita de energia para o seu funcionamento. Esta é fornecida normalmente pela energia própria da usina. Na indisponibilidade desta, pela rede elétrica externa, através de linhas de transmissão redundantes, especialmente destinadas a isso. Finalmente, na indisponibilidade dessas, por geradores diesel de emergência, que também integram o projeto da usina. No caso, todas as fontes de energia mencionadas ficaram indisponíveis, devido ao terremoto extraordinário e os diesels, devido ao tsunami. Passaram a se aplicar, então medidas de emergência previstas em norma para tais casos extremos (acidentes "severos"). Inicialmente, foram trazidos geradores diesels móveis. Depois, aplicou-se a refrigeração direta do combustível através da inundação do reator com água de fontes externas. A água em contacto com o combustível danificado gerou, por uma reação química, hidrogênio, potencialmente explosivo, tendo ocorrido, de fato, várias explosões, apesar das medidas preventivas tomadas.

O combate às consequências do acidente de Fukushima não terminou, como se sabe. A situação dos reatores está ainda em evolução e é detalhadamente acompanhada pelos responsáveis pela central nuclear.

A evolução da situação é amplamente informada à comunidade internacional, inclusive através de vários sites na internet. Estes sites de acompanhamento estão disponíveis para o público, p.ex. o da ANS (American Nuclear Society) que congrega várias fontes de informação em sua página <http://www.new.ans.org/>. O acompanhamento brasileiro oficial pode ser visto na página da CNEN: <http://www.cnen.gov.br/>.

O processo de análise e retirada de lições aprendidas está apenas começando. É cedo, portanto, para tirar conclusões específicas do acidente de Fukushima aplicáveis a outros reatores, em particular aos de Angra.

Entretanto é preciso dizer que, com relação aos acidentes severos já ocorridos, as nossas usinas já têm introduzidos os ensinamentos de TMI, reator de mesmo tipo que o de Angra. Por outro lado, um acidente como o de Tchernobyl não pode acontecer em Angra, por ser Tchernobyl de um tipo totalmente diferente – principalmente, Angra é um reator a água pressurizada e dispõe de contenção, ao contrário de Tchernobyl. Quanto a Fukushima – este foi causado por um sismo e um tsunami de magnitude que supera tudo que já ocorreu no Japão, historicamente sede de sismos de grande porte. As usinas de Angra tem, sim, projeto antissísmico, compatível com o histórico sismológico da região. E possui diesels de emergência em número, redundância e proteção elevados.

Vivendo e aprendendo... mas com serenidade: o Brasil não é uma ilha. A nossa comunidade técnico-científica, juntamente com as do mundo todo, deverá se empenhar em participar da laboriosa tarefa de análise e aprendizado pós-Fukushima. O desempenho em termos de segurança apresentado pelas usinas de Angra só terá a lucrar com isso.

[1] Ex-membro do INSAG (International Nuclear Safety Advisory Group) da AIEA, (1985-1991).